This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK GENT

Math.69.

Math. 69.

ESSAI

SUR

LA THÉORIE

DES TORRENS ET DES RIVIÈRES.

ESSAI

SUR

LA THÉORIE

DES TORRENS ET DES RIVIÈRES,

CONTENANT

Les moyens les plus ſimples d'en empêcher les ravages, d'en rétrécir le lit & d'y faciliter la Navigation, le Hallage & la Flottaiſon.

Accompagné d'une diſcuſſion ſur la Navigation intérieure de la France;

Et terminé par le projet de rendre Paris, Port maritime, en faiſant remonter à la voile, par la Seine, les Navires qui s'arrêtent à Rouen.

PAR LE CITOYEN FABRE,

Ingénieur en chef des Ponts & Chauſſées, au Département du Var.

A PARIS,

Chez BIDAULT, Libraire, rue Haute-feuille, n°. 10, au coin de la rue Serpente.

AN VI. — 1797.

Pour être déposé à la bibliothèque de l'école Centrale du Dépt. de l'Escaut.

Accusez promptement la réception.

DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

PARMI les objets confiés aux ſoins des ingénieurs des Ponts & Chauſſées, il n'y en a peut-être aucun qui mérite autant de fixer l'attention du Gouvernement que la partie des torrens & des rivières, ſoit qu'on les conſidère relativement à leurs ravages dans le tems des crues, aux moyens d'y remédier & à l'étendue immenſe de terreins infiniment précieux qu'on peut conquérir aux dépens de leur lit, ſoit qu'on les enviſage relativement aux avantages qu'on en peut retirer en y facilitant, ou en augmentant la navigation, le hallage & la flottaiſon. Comme le ſujet eſt des plus importans, pour éclairer nos lecteurs, avant d'expoſer le plan de notre ouvrage, nous allons entrer dans quelques détails préliminaires, d'après leſquels on ſe convaincra de la vérité de notre aſſertion. Commençons d'abord par fixer les idées ſur la nature des torrens & des rivières.

Les eaux pluviales, en tombant ſur le penchant des maſſes primitives des montagnes, y ont creuſé, en s'écoulant, des vallées plus ou moins profondes, ſuivant l'époque plus ou moins reculée où elles ont commencé d'agir, & ſuivant le degré de ténacité des matières qui compoſent l'intérieur de ces maſſes. Ces vallées étant aujourd'hui les endroits les plus bas des montagnes, reçoivent pendant les pluies toutes les eaux

qui s'écoulent ſuperficiellement & les conduiſent aux rivières les plus voiſines. Par où l'on voit, qu'à l'exception de quelques eaux de ſources dont les conduites ſouterraines ſont coupées & interceptées par ces mêmes vallées, les torrens ne ſont guères alimentés que par les eaux pluviales ſuperficielles des montagnes, & que hors le tems des pluies, ils ſont preſque à ſec.

Les rivières au contraire, dans leur état habituel & ordinaire, ne ſe forment que des eaux de ſources qui ſe rendent dans leur lit par la voie des torrens. D'où il ſuit, que dans tous les tems, les rivières ont un certain volume d'eau plus ou moins conſidérable, ſelon qu'on s'éloigne plus ou moins de leur origine. C'eſt la première différence qu'il y a entre le torrent & la rivière.

Le lit du torrent ſur le penchant de la montagne où il prend ſon origine, forme une courbe convexe; & parvenu au pied, il change de direction & s'établit ſur un plan plus ou moins incliné; tandis que le lit de la rivière forme, dans toute l'étendue de ſon cours, une courbe aſſymptotique ſans interruption, dont les élémens s'approchent d'autant plus de la ligne de niveau, qu'ils s'éloignent davantage de la ſource. C'eſt-là une ſeconde différence entre le torrent & la rivière.

Le lit du torrent arrivé au pied de la montagne où il prend ſon origine, éprouve diverſes alternatives dans ſa hauteur. Il s'exhauſſe ſi la crue eſt courte, &

il s'abaiſſe ſi la crue eſt longue. Dans la rivière au contraire, le lit eſt toujours ſenſiblement à la même hauteur, quelle que ſoit la longueur de la crue. Il ne s'exhauſſe qu'en s'élargiſſant, & ne s'abaiſſe qu'en ſe rétréciſſant. Troiſième différence entre le torrent & la rivière.

Le lit du torrent au bas de la montagne ſur laquelle il ſe forme, a toujours beaucoup plus de pente que celui de la rivière qui le reçoit : ce qui conſtitue une quatrième différence entre le torrent & la rivière.

Le gravier du torrent n'eſt compoſé que de pierres brutes & anguleuſes, telles qu'elles deſcendent de la montagne. Celui de la rivière au contraire, ne contient que des galets polis par le frottement & arrondis par la rotation : cinquième différence entre le torrent & la rivière.

Le torrent enfin dans la plaine, ſort quelquefois de ſon lit pour ſe jetter ſur les domaines adjacens qui ſont ordinairement plus bas. Mais la rivière corrode les bords & ne les franchit que pour inonder momentanément les propriétés riveraines. C'eſt la ſixième différence entre le torrent & la rivière.

Bien des gens ſont dans l'uſage de confondre avec le torrent une rivière, lorſqu'elle a beaucoup de pente & de rapidité. On voit, par ce que nous venons d'expoſer, que c'eſt à tort, & qu'il y a des caractères de différence très-bien prononcés entre l'un & l'autre de ces deux courans.

Mais divers torrens réunis ne forment pas tout de ſuite une rivière. Il y a un état intermédiaire où le courant n'eſt plus torrent & n'eſt pas encore rivière. Dans cet état, qui pour l'ordinaire eſt de quelques lieues d'étendue, le courant participe tout à-la-fois de la nature du torrent & de celle de la rivière, & il tient plus ou moins de l'une ou de l'autre ſelon qu'il s'approche davantage du torrent ou de la rivière. C'eſt pour cette raiſon qu'on doit l'appeller *torrent-rivière.*

Ainſi, on voit que dans la nature on doit diſtinguer trois ſortes de courants réellement diſtincts les uns des autres; ſavoir : le torrent proprement dit, la rivière, & le torrent-rivière.

Les ravages des torrens ſont d'autant plus déſaſtreux, qu'une fois opérés, on ne peut plus y remédier. En effet ; lorſque ces ravages s'exercent ſur le penchant d'une montagne, il en réſulte que la couche de terre végétale eſt entraînée, & qu'il n'y reſte plus que le rocher nud & aride. Lorſqu'ils ont lieu dans la plaine ſituée au pied de la montagne, ils s'opèrent à la vérité d'une autre manière, mais qui n'eſt pas moins déſaſtreuſe : car alors, ſi le torrent n'eſt pas contenu, il ſe porte ſur les domaines voiſins, & les couvre de gravier dont l'enlèvement coûteroit ſouvent beaucoup plus que la valeur de la propriété dévaſtée. C'eſt ainſi que dans les pays de montagnes, on voit journellement diſparoître ſous des maſſes énormes de gravier, les domaines les plus précieux.

Les torrens-rivières ayant ordinairement, ainſi que les torrens, un lit ſupérieur aux domaines adjacens, en ſortent auſſi fort ſouvent pour ſe porter ſur ces domaines qu'ils couvrent pareillement de gravier; & ſi l'on obſerve que dans les pays de montagnes les propriétés les plus précieuſes ſont toujours le long de ces courants, on ſentira combien il eſt malheureux pour ces contrées d'être expoſées à de pareils fléaux.

Les rivières priſes dans les parties de leur cours où elles charient du gravier, ne ſont pas moins déſaſtreuſes. La deſtruction de nos forêts & les défrichemens fort mal-à-propos opérés ſur nos montagnes, en permettant aux eaux pluviales de s'écouler dans un intervalle de tems beaucoup plus court qu'autrefois, ont augmenté à proportion le volume d'eau des rivières pendant les crues. Depuis ce tems, les fertiles domaines ſitués ſur leurs bords ont été corrodés & emportés en grande partie.

Le lit s'élargiſſant par l'effet de ces corroſions s'eſt en même tems exhauſſé; tandis que les bords étant devenus par-là même inférieurs, ont attiré le courant & ont provoqué les progrès du mal.

Tel eſt l'état de toutes les rivières à fond de gravier. La dévaſtation ſe manifeſte par-tout ſur les domaines riverains. On peut s'en convaincre particulièrement dans les contrées montueuſes où ces rivières ſe trouvent toujours, & en particulier ſur la Durance, dans les

départemens des Baſſes-Alpes & des Bouches-du-Rhône, où il n'eſt pas rare de rencontrer des endroits de plus de 1000 toiſes de largeur occupés par cette rivière, tandis que moins de 150 toiſes ſuffiroient au paſſage de ſes eaux dans le tems des plus grandes crues.

Ce n'eſt pas aux pays de montagnes que ſe bornent les ravages des rivières. Arrivées dans les pays de plaines, elles rallentiſſent à la vérité leur cours, & ceſſent de charier du gravier; mais par-là même, leurs eaux s'enflant davantage, menacent à chaque crue d'inonder les plaines adjacentes. Souvent même les turcies deviennent inſuffiſantes pour les contenir dans leur lit.

Ce n'eſt pas tout; ſi ces rivières s'évacuent dans la Méditerranée, elles y produiſent des bancs & des iſles qui détruiſent le ſeul avantage qu'on en pourroit retirer; ſavoir, la navigation: le Rhône nous en fournit un exemple. Cet inconvénient eſt moins ſenſible aux embouchures dans l'océan, à cauſe que dans la haute marée ces bancs ſont toujours ſurmontés d'une certaine profondeur d'eau.

On ſent d'après cela, combien il eſt intéreſſant pour l'état de trouver des moyens ſimples & peu coûteux d'arrêter ces ravages lorſqu'il y a poſſibilité. On préſerveroit de la fureur des torrens & des rivières, des domaines précieux qui ſont la ſeule reſſource des pays de montagnes. En réduiſant les rivières à une largeur

convenable, on gagneroit beaucoup de terreins à l'agriculture. Ces terreins formés des dépôts de limon dans le tems des crues ſeroient, par-là même, d'une nature ſupérieure ; & ce qui les rendroit encore plus précieux, c'eſt que par leur poſition, ils ſeroient très-ſuſceptibles d'irrigation. Or, ſi l'on ſe donnoit la peine de faire le relevé de tous les terreins qu'on pourroit ainſi gagner ſur les rivières de la France, on verroit qu'ils formeroient une étendue immenſe.

D'un autre côté, on comprend aſſez que l'on ne peut conquérir ces terreins ſur les rivières, ſans en rétrécir le cours, & que par-là même, leurs eaux acquérant plus de profondeur, la navigation, le hallage & la flottaiſon ne pourroient qu'y gagner. Or, ces objets ſont une partie eſſentielle de la navigation intérieure, projet depuis long-tems propoſé, & dont l'exécution rendroit la France l'état le plus floriſſant de l'univers.

Si l'on en excepte les torrens tels que nous les avons décrits, & ſur leſquels on n'a jamais rien dit, il n'y a peut-être aucune partie de l'hydraulique ſur laquelle on ait autant écrit que ſur les rivières, & ſans contredit il n'y en a aucune au ſujet de laquelle nous ayons acquis moins de connoiſſances. Pour s'en convaincre, on n'a qu'a faire attention qu'en mettant à contribution tout ce qui a été publié à cet égard, on n'a pas encore pu en déduire un mode ſimple & général de

réduire le lit des rivières, & de faciliter la navigation, de quelque nature qu'elle ſoit d'ailleurs. Il y a même des auteurs, tels que Bélidor, qui ont prétendu que les rivières qui charient du gravier, doivent être regardées comme *preſque indomptables*.

Deux cauſes ont contribué au défaut de progrès dans cette partie.

La première cauſe eſt que divers auteurs ont voulu y appliquer le calcul algébrique, & exprimer par des équations générales, les loix que les eaux ſuivent dans leur cours. Qu'une pareille application ait lieu dans un courant contenu dans un ouvrage fait de main d'homme, où l'art l'a ſoumis à un cours régulier, & où, comme par exemple dans un canal, il y a une loi de continuité & d'uniformité, ſoit dans les mouvemens, ſoit dans les variations, on ſent que dans ce cas la choſe ne peut être qu'utile, & qu'il eſt infiniment avantageux de pouvoir lire dans une équation, modifiée ſi l'on veut par les réſultats de l'expérience, la théorie d'un pareil courant. Mais qu'on faſſe une pareille application ſur les rivières dont les variations ſont multipliées à l'infini, & s'opèrent à chaque pas d'une manière différente ſuivant le volume des eaux, la nature & la poſition des obſtacles, &c.; il eſt viſible que c'eſt alors abuſer du calcul, & que la théorie qu'on aura par cette voie ne ſera qu'une théorie purement hypothétique qui ſe rapportera aux rivières telles qu'on

les

les aura imaginées, mais qui ſera tout-à-fait étrangère aux rivières exiſtantes dans la nature.

Cependant on ſent qu'en cherchant à établir la théorie des rivières, on doit les figurer telles qu'elles ſont dans la nature, avec toutes les modifications qui les affectent, & non telles qu'elles ſeroient d'après la ſimple théorie ou d'après des hypothèſes quelconques dénuées de fondement. Si à l'imitation de Pitot, dans les mémoires de l'Académie des Sciences, on ſuppoſe, par exemple, qu'une rivière ſe meuve ſur un plan uniformément incliné, & que de-là on infère que cette rivière éprouvant de la part de la mer une réſiſtance qui détruit la moitié de ſa vîteſſe, doit ſe mouvoir d'un mouvement uniforme ſur les trois derniers quarts de la longueur de ſon cours; ce réſultat eſt parfaitement analogue à la manière dont cet auteur enviſageoit les rivières; mais il eſt complettement démenti par l'expérience, qui ne prouve rien de pareil, ni rien d'approchant. Telle eſt cependant la marche qu'ont ſuivie beaucoup d'auteurs; l'on comprend ſans peine qu'une pareille méthode n'étoit pas faite pour nous éclairer ſur la théorie des rivières.

La deuxième cauſe eſt, que la plupart des auteurs qui ont fait des obſervations ſur le cours des rivières, n'ont jamais eu un point de vue fixe & déterminé, auquel ils puſſent conſtamment les rapporter. De-là cette multitude d'obſervations le plus ſouvent oiſeuſes

& de pure curioſité, & preſque toujours diſparates & incohérentes. Si au contraire ils s'étoient formé un plan préliminaire, par exemple, celui d'utiliſer les rivières en réduiſant leur lit de la manière la plus ſimple, & qu'ils ſe fuſſent bornés à étudier leur cours ſous ce rapport, ſans jamais dévier de la ligne qui conduiſoit à ce but, on auroit conſidérablement diminué le nombre d'obſervations ; elles auroient été faites avec ſuite & intelligence, & l'enſemble n'eût pas manqué de fixer une théorie au moins approximative qui nous eût mis à portée de contenir nos rivières dans de juſtes bornes, de gagner beaucoup de terrein au profit de l'agriculture, & de faciliter conſidérablement la navigation.

Nous avions été chargés, il y a environ vingt ans, par l'adminiſtration du ci-devant pays de Provence, de viſiter les diverſes rivières de ſon reſſort, & de faire toutes les obſervations néceſſaires pour ſimplifier les travaux qu'on étoit habituellement obligé d'exécuter pour les contenir dans leur lit. Les courſes que nous fîmes à ce ſujet & les réflexions qu'elles nous ſuggérèrent, nous firent ſentir l'inſuffiſance de la théorie conſignée dans les ouvrages connus, & la néceſſité d'en créer une qui s'adaptât parfaitement aux beſoins de la ſociété. En conſéquence, nous fîmes un recueil d'obſervations relatives à la ſolution de ce problême : *trouver les moyens les plus ſimples & les moins diſpendieux d'empêcher les*

ravages des torrens & des rivières des pays de montagnes. C'eſt d'après ce recueil que nous compoſâmes un traité intitulé : *Eſſai ſur la théorie des torrens & des rivières des pays de montagnes.* Nous le préſentâmes le 2 décembre 1780 à l'Académie des Sciences, qui en porta un jugement favorable le 4 avril 1781.

Sur la fin de l'année 1780, ayant été nommé ingénieur des ci-devant États de Provence pour la partie hydraulique, cette place nous a mis à portée de faire une infinité de nouvelles obſervations & des expériences directes ſur les diverſes branches de l'hydraulique, & en particulier ſur les torrens & les rivières. Nous avons même pouſſé ces obſervations juſqu'à l'embouchure des rivières dans la mer : c'eſt pour cette raiſon que nous n'avons jamais publié l'ouvrage dont nous venons de parler : car nous le regardions comme incomplet & ſuſceptible d'un ſupplément eſſentiel.

Dans le mois de fructidor de l'an 4, l'aſſemblée des Ponts & Chauſſées ayant pris connoiſſance de cet ouvrage, jugea qu'il ſeroit utile aux ingénieurs & aux élèves, & opina pour qu'il fût imprimé aux frais du Gouvernement. En conſéquence, jaloux de répondre à la confiance de l'aſſemblée, nous crûmes devoir le refondre & en généraliſer la théorie d'après nos expériences & nos nouvelles obſervations. Le traité que nous publions aujourd'hui eſt le réſultat de ce travail.

L'objet que nous nous propoſons dans ce traité eſt

de donner une théorie, d'après laquelle on puiſſe, par des moyens ſimples & peu coûteux, arrêter les ravages des torrens, des rivières, & des torrens-rivières, depuis la formation des torrens ſur les montagnes juſqu'à l'embouchure des rivières dans la mer; réduire par les mêmes moyens leur lit à de juſtes bornes & y procurer ou y faciliter la navigation, le hallage & la flottaiſon lorſque la choſe eſt poſſible & utile. En conſéquence, nous avons écarté toute obſervation & tout principe qui s'éloignoit de l'utilité publique, & qui ne ſe rapportoit pas aux travaux du reſſort des Ponts & Chauſſées. Ainſi, on ne trouvera rien de ſuperflu dans cet ouvrage.

C'eſt dans la même vue, & d'après ce que nous avons dit précédemment, que nous en avons exclu les calculs ſcientifiques. On n'en trouvera qu'un dont l'expérience même indique l'inutilité. Par conſéquent, on peut regarder cet ouvrage comme à la portée de tout le monde.

Ceux qui ſont accoutumés à écrire d'après leurs propres idées & leurs obſervations, ſavent combien on eſt gêné, ſur-tout dans un ſujet tel que celui-ci, quand on compulſe les ouvrages dont les principes influencent ſouvent notre opinion ſans que nous nous en appercevions, & ne manquent jamais de mettre l'eſprit aux entraves. Ainſi, c'eſt pour n'être pas ſubjugué dans la nôtre par des autorités d'ailleurs très-reſpectables, &

pour pouvoir ſuivre en toute liberté le plan que nous nous étions formé, que nous n'avons uniquement puiſé que dans nos idées & dans notre mémoire. Cette conſidération nous fera trouver grace aux yeux des lecteurs inſtruits, dans le cas où ils rencontreroient quelquefois des idées qui leur paroîtroient extraordinaires. D'ailleurs, nous n'écrivons que pour reculer les bornes des connoiſſances dans cette partie pour le plus grand bien de la choſe publique. Or, comment pourroit-on y réuſſir ſi l'on ſe copioit mutuellement, & ſi l'on marchoit conſtamment ſur les traces les uns des autres.

Ainſi, nous prévenons le public que ce n'eſt point par *dédain* ni par indifférence pour les auteurs qui ont couru la même carrière, que nous n'avons pas mis leurs ouvrages à contribution. Nous ſavons qu'on y trouve d'excellentes recherches qui peuvent d'ailleurs être très-utiles dans diverſes circonſtances; mais elles n'entroient pas dans notre plan.

Cet ouvrage eſt diviſé en trois parties.

La première partie traite de la théorie des torrens, des rivières, & des torrens-rivières; elle ſe diviſe en cinq ſections.

La première ſection ne contient que des notions préliminaires pour l'intelligence des ſections ſuivantes & du reſte de l'ouvrage. Nous y parlons d'abord de l'abaiſſement progreſſif du niveau des eaux de la mer, de l'origine des montagnes, & des fondrières qui en

ont dégradé les penchans & dont nous faiſons connoître la cauſe, la direction, les limites & l'égard qu'on doit y avoir dans les travaux publics. Nous expoſons enſuite très-ſuccinctement, & néanmoins d'une manière complette, les principes de l'aérométrie relatifs à l'évaporation des eaux & à la formation des nuages & des pluies, les obſervations météorologiques ſur la quantité de pluie & d'évaporation, & l'origine des ſources & des rivières. Enfin, après un certain détail ſur le volume d'eau des rivières & ſes variations par les pluies & par la ſéchereſſe, nous établiſſons la différence qui règne entte les torrens, les rivières & les torrens-rivières, & nous démontrons que, dans l'impoſſibilité d'atteindre à une théorie rigoureuſe, on doit ſe borner à une théorie approximative.

La deuxième ſection traite de la théorie des torrens. Nous y examinons d'abord les torrens ſur les montagnes où ils prennent leur origine, la manière dont ils ſe forment, la convexité de la ligne de fond de leur lit & les ſciſſions qu'ils opèrent ſur les chaînes de montagnes; d'où nous tirons quelques conjectures ſur la formation des détroits & ſur l'anéantiſſement futur des lacs traverſés par des rivières. Nous ſuivons enſuite ces mêmes torrens depuis le pied des montagnes juſqu'aux rivières ou torrens-rivières où ils ſe rendent, & nous trouvons que dans cette partie leur direction change totalement; que leur pente y diminue; qu'elle

y eſt, en raiſon de la groſſièreté des matières du fond, & que le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue, & s'exhauſſera à la fin.

Nous examinons après cela le cas où il y a une plaine entre la montagne & la rivière qui reçoit le torrent. Nous démontrons qu'alors le lit du torrent ſera aſſez généralement ſupérieur aux terreins adjacens ; combien il eſt intéreſſant de le conduire à ſon embouchure par la voie la plus courte, & combien il eſt eſſentiel de le reſſerrer le plus poſſible. Enfin, nous terminons cette ſection par l'examen des cauſes qui produiſent les torrens, & des maux incalculables qui en réſultent. Ce ſujet eſt abſolument neuf, & il eſt de la plus haute importance pour tous les pays de montagnes.

Dans la troiſième ſection, nous traitons de la théorie des rivières que nous diviſons en deux claſſes, ſavoir : 1°. les rivières dont le fond eſt gravier, 2°. celles dont le fond eſt ſable ou limon.

Dans les rivières à fond de gravier, nous examinons d'abord la nature & la pente du lit ; nous faiſons voir que le gravier tire ſon origine des montagnes adjacentes, & qu'il ſera plus ou moins abondant & plus ou moins groſſier, ſuivant que ces montagnes ſeront plus ou moins hautes, plus ou moins rapides & plus ou moins proches de la rivière : d'où nous concluons que dans les pays de plaines les rivières ne charieront

point de gravier. Nous examinons pareillement la forme des galets du gravier, la cauſe de leur arrondiſſement, & les raiſons pour lesquelles le lit des rivières s'abaiſſe nonobſtant la prodigieuſe quantité de pierres que les torrens ne ceſſent d'y tranſporter.

Nous conſidérons enſuite les rivières priſes dans l'état où les eaux ſe mettent en équilibre avec les matières du fond. Le volume d'eau, la pente du lit & la groſſièreté des matières du fond, ſont les ſeuls élémens qui entrent dans cet examen, & c'eſt de leur combinaiſon que nous déduiſons toutes les variations du fond & les loix qu'il doit ſuivre. D'où nous concluons que le lit d'une rivière doit former une courbe aſſymptotique. Cette théorie nous fournit l'occaſion de parler des déverſoirs de barrage & des rétréciſſemens des rivières, ainſi que des effets qui réſultent des uns & des autres.

De-là nous paſſons à l'examen de la corroſion que les eaux exercent ſur le fond, & aux moyens de la provoquer & de la modifier à volonté : nous faiſons voir que l'équilibre entre l'action des eaux & la réſiſtance du fond exige, que par intervalle il ſe creuſe des gouffres avec contre-pente qui détruiſent l'effet de l'accélération, que la profondeur de ces gouffres dépend de celle du courant & du degré de pente, & que leur diſtance eſt en raiſon inverſe de la pente; nous diſcutons toutes les variations que les rétréciſſemens produiſent ſur le fond

par

par la corroſion dont les effets peuvent être modifiés par des radiers, & nous en concluons ce grand principe qui ſert de bâſe à la réduction du lit des rivières, ſavoir : qu'*il ſuffit de les reſſerrer par intervalles pour les réduire.*

Nous examinons enfin les variations des rivières & leur action ſur les bords. Après avoir prouvé qu'un lit trop large doit s'exhauſſer & porter le courant ſur les bords, nous ſuivons ſon action ſur ces mêmes bords dans toutes les hypothèſes relatives, ſoit à leur nature, ſoit à leur direction, & nous démontrons que la propriété des berges obliques & incorroſibles eſt d'attirer le courant à elles ſans le réfléchir. Nous terminons ce ſujet par l'examen des cauſes qui diviſent les rivières en pluſieurs branches. A la ſuite de cet examen, nous indiquons le ſeul & unique moyen de détruire toutes ces cauſes.

Dans les rivières à fond de ſable & de limon, nous ſuivons le même ordre que dans celles à fond de gravier. Nous démontrons d'abord qu'elles ont moins de pente; que leur vîteſſe eſt uniforme, & qu'elles ſont moins variables que les autres. Enſuite, après avoir prouvé qu'il ne s'y creuſera aucun gouffre d'équilibre, nous les enviſageons dans le cas où on les rétréciroit, & nous en déduiſons toutes les conſéquences qui ſe rapportent aux rétréciſſemens ſur les rivières à fond de gravier. Nous parlons de la manière dont les iſles

ſe forment dans leur lit, de l'action du courant ſur les bords & des cauſes qui en produiſent la diviſion. Enfin, nous traitons des dépôts qui ſe forment à l'embouchure dans la mer, & des inconvéniens qui en réſultent, ſur-tout dans la Méditerranée, où ils occaſionnent néceſſairement des marais & des plages très-dangereuſes.

La quatrième ſection a pour objet la théorie des torrens-rivières. On ſent bien que cette théorie eſt mixte ; qu'elle ſe compoſe de celle des torrens & de celle des rivières, & qu'elle tient plus ou moins de l'une ou de l'autre, ſuivant que le torrent-rivière ſe rapprochera davantage du torrent ou de la rivière. Ainſi, ce que nous en avons à dire ſe réduit à prouver, que le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit, & à quelques réflexions relatives, ſoit aux gouffres requis par l'équilibre, ſoit à l'exhauſſement & à l'abaiſſement alternatif du lit par l'effet des crues.

Dans la cinquième & dernière ſection de cette partie de notre ouvrage, nous parlons des confluens des torrens, des rivières & des torrens-rivières. Après quelques obſervations générales, dans leſquelles nous faiſons voir entr'autres choſes l'impoſſibilité de déterminer ailleurs que ſur un milieu très-peu réſiſtant, tel que la ſurface de la mer, la direction de la réſultance de deux courans qui ſe réuniſſent, nous examinons ſucceſſivement

les variations qui ont lieu par l'effet du confluent de deux torrens, d'un torrent & d une rivière ou d'un torrent-rivière, d'une rivière & d'un torrent-rivière, de deux rivières & de deux torrens-rivières; variations que nous déduiſons des principes établis dans les ſections précédentes.

La deuxième partie de notre ouvrage traite des moyens d'empêcher les ravages des torrens, des rivières & des torrens-rivières. Son objet, comme l'on voit, eſt des plus intéreſſans, & il mérite d'être diſcuté avec le plus grand ſoin. Nous diviſons cette partie en trois ſections.

Dans la première ſection nous expoſons les moyens d'empêcher la formation & les ravages des torrens. La formation des torrens n'ayant lieu que ſur le penchant des montagnes, on ſent d'abord que le premier moyen de les prévenir eſt d'empêcher la deſtruction des forêts, & d'aſſigner un mode qui arrête l'arbitraire des défrichemens. Nous donnons ſur ce dernier objet des idées & un plan dont nous croyons l'exécution très-utile à la choſe publique. Nous laiſſons même à nos lecteurs le ſoin de juger ſi ce plan ne mérite pas de fixer l'attention du corps légiſlatif, & s'il ne ſeroit pas à propos de le ſanctionner par une loi qui manque juſqu'à préſent à notre code rural. Nous parlons enſuite des moyens de détruire les torrens déjà formés, & des cas où cette deſtruction eſt impoſſible.

Arrivés au bas des montagnes où ils ſe ſont formés,

les torrens exigent des moyens particuliers pour être contenus dans leur lit & conduits juſqu'à la rivière deſtinée à les recevoir. Nous expoſons ces moyens, ainſi que l'uſage qu'on peut faire des radiers, lorſqu'on emploie des murailles.

La deuxième ſection traite des moyens de contenir dans leur lit les rivières & les torrens-rivières; elle ſe diviſe en deux chapitres.

Le premier chapitre ne parle uniquement que des digues à employer pour remplir l'objet dont il s'agit.

Nous conſidérons d'abord les digues par rapport à leur direction. L'objet des digues eſt de détourner le courant de l'endroit qu'on veut garantir; & pour cela elles doivent y produire des attériſſemens qui rendent cet endroit plus élevé que le reſte du lit de la rivière. Or, les attériſſemens ne peuvent être formés que par des eaux mortes & ſtagnantes, ou qui du moins aient fort peu de vîteſſe. D'où il ſuit que la direction à adopter pour les digues, eſt celle qui détruira le plus exactement la vîteſſe du courant. Nous faiſons voir, & tout le monde ſent, que la digue parallèle ne détruiſant aucune partie de la vîteſſe, n'eſt pas propre à cet objet; qu'il en eſt de même des digues obliques, puiſque leur propriété eſt d'attirer le courant au lieu de l'éloigner, & qu'elles doivent ſpécialement être employées à établir la priſe d'eau des canaux de dérivation. D'où nous concluons qu'il n'y a que les digues

perpendiculaires, qui, détruiſant complettement la vîteſſe du courant, aient la propriété demandée. Mais en même tems nous obſervons que ces digues exigent d'être accompagnées à leur à-bout d'un éperon qui leur ſoit perpendiculaire, & dont la plus grande longueur ſoit du côté d'amont. Nous prouvons que cet éperon produira au-devant de la digue, une digue d'eaux mortes qui la mettra à couvert de l'action du courant, & qui permettra de n'employer à ſa conſtruction que de la terre & du gravier. Le réſultat de cette forme de digue eſt, qu'elles peuvent être conſtruites avec la plus grande économie; qu'il ſe formera des attériſſemens en amont & en aval; que ces attériſſemens fortifieront la digue perpendiculaire; qu'ils auront lieu dès la première crue de la rivière; qu'ils ne pourront pas être en gravier, mais ſeulement en limon; & qu'enfin on pourra ſous très-peu de tems les rendre à l'agriculture.

Nous paſſons enſuite aux diverſes eſpèces de digues dont nous examinons le profil, les matériaux, la conſtruction & les cas où l'on doit les employer.

Nous commençons par les digues perpendiculaires qui, par le moyen de l'éperon de leur à-bout, ne ſeront qu'en terre ou gravier, & dont nous développons la conſtruction hors de l'eau & dans l'eau.

Viennent enſuite les digues à *pérés*, qu'on ſait n'être que des levées en terre ou en gravier, & dont

le talus exposé à l'action des eaux est garni en pierres. Nous distinguons trois sortes de pérés, savoir : 1°. le péré en pierres d'appareil, en usage sur la Durance, & que nous nommons *péré en dalles ;* 2°. le péré en blocs, que nous appellons *péré en blocaille ;* 3°. le péré en pierres de moyenne ou de petite grosseur, auquel nous donnons le nom de *petit péré.*

Comme il est essentiel que dans les digues à pérés le talus soit toujours à l'abri de l'action des eaux ; nous prescrivons ce qu'il y a à faire dans tous les cas pour remplir cet objet, soit par la disposition des pierres composant les pérés, soit par le moyen des bermes dont nous donnons la description & les dimensions.

Les digues à pierres sèches succèdent aux digues à pérés. Après avoir donné la description de celles usitées dans la ci-devant Provence, nous indiquons les vices qu'elles renferment & la réforme qu'il convient d'y introduire.

Nous parlons ensuite des digues en mâçonnerie. Mais comme la construction de ces digues est extrêmement coûteuse, & qu'à raison de cela elles ne peuvent guères entrer dans notre plan, dont le but principal est l'économie à introduire dans les travaux, nous n'en disons qu'un mot en passant.

Après les digues en mâçonnerie, nous traitons des digues en gabions. On sait que les gabions sont des

cônes en clayonnage remplis de pierres ou de gravier. Nous faiſons voir les avantages & les inconvéniens de ce genre de digues.

Nous paſſons après cela à une ſorte de digues très-peu connue & cependant très-efficace. Ce ſont les digues par encaiſſement à claire-voie, uſitées ſur les torrens-rivières dans le département des Baſſes-Alpes, & dans quelques autres départemens des pays de montagnes. Après en avoir donné la deſcription & démontré la ſolidité, nous indiquons la manière d'en généraliſer l'uſage.

Nous ne paſſons pas ſous ſilence les digues en bois. Elles ont d'autant plus de mérite qu'elles ſont plus ſimples, & qu'il eſt rare qu'elles ne produiſent pas leur effet. Dans cette claſſe ſont : 1°. les arbres branchus coupés à demi ou arrêtés ſolidement avec des liens, & jettés ſur une berge corrodée. 2°. Les paliſſades avec des arbres ramés aux paremens, & dont les pieux ſont joints entr'eux avec des liernes ; 3°. les digues en clayonnage ; 4°. les *chevrettes* ou *chevalets*. Nous donnons la deſcription & les avantages de toutes ces ſortes de digues, & ſur-tout de celles à *chevalets* au ſujet deſquelles nous indiquons des réformes bien eſſentielles.

Les levées ou turcies en uſage le long des grandes rivières pour en contenir les hautes eaux, occupent auſſi une place parmi nos digues. Après en avoir expliqué

la conſtruction, nous donnons nos idées ſur les moyens de les fortifier & d'empêcher qu'elles ne ſoient percées.

Nous terminons ce chapitre par le réſumé général de toutes les digues dont nous avons parlé, & en indiquant les cas où on doit reſpectivement les employer.

Dans le deuxième chapitre nous appliquons l'uſage de ces digues à la réduction du lit des torrens-rivières & des rivières à fond de gravier. Cette réduction devient, d'après les principes précédens, de l'exécution la plus ſimple. Que par intervalles on rétréciſſe le courant en employant des digues perpendiculaires accompagnées de leur éperon, on les forcera à creuſer leur lit d'un rétréciſſement à l'autre, & d'exhauſſer en même tems leurs bords par des dépôts de limon qu'on pourra bientôt mettre en culture. Nous donnons à ce ſujet tous les développemens dont il eſt ſuſceptible.

Ce moyen s'applique auſſi aux rivières à fond de ſable & de limon. Mais comme aſſez généralement ces rivières ne préſentent pas de terrein à gagner, & qu'on ne les réduit que relativement à la navigation, nous renvoyons cet objet à la troiſième partie.

Enfin, dans la troiſième ſection nous parlons de l'uſage qu'on peut faire des digues perpendiculaires accompagnées d'éperons pour ſimplifier les travaux relatifs à la conſtruction des ponts ſur les rivières à

fond

fond de gravier, & dont la largeur eſt fort conſidérable, comme par exemple, ſur la Durance.

La troiſième partie a pour objet la navigation, le hallage & la flottaiſon des rivières, & elle ſe diviſe en cinq ſections.

Dans la première ſection nous parlons de la navigation des rivières. Après avoir prouvé que, pourvu qu'il y ait profondeur d'eau, toute rivière à fond de ſable ou de limon eſt navigable à la voile, & qu'il en eſt de même des rivières à fond de gravier, lorſque la pente n'excédera pas 3 pouces 6 lignes ſur 100 toiſes, nous faiſons connoître les obſtacles qui y gênent la navigation, ſoit à leur embouchure, ſoit ſur leur cours. Les dépôts qui ſe forment aux embouchures ſont moins nuiſibles aux navires ſur l'Océan, à cauſe des marées. Mais ſur la Méditerranée ils néceſſitent impérieuſement la conſtruction de canaux particuliers. Nous citons à ce ſujet l'embouchure du Rhône, l'ancien canal conſtruit par Marius, & le projet d'un nouveau canal deſtiné à joindre le Rhône pris à la hauteur d'Arles avec le port de Bouc.

Nous faiſons voir enſuite qu'il faut réduire une rivière pour lui donner plus de profondeur d'eau, & que pour la forcer à creuſer ſon lit, il n'y a qu'à la rétrécir par intervalles, ainſi que nous l'avons déjà preſcrit pour les rivières à fond de gravier.

Nous indiquons les matériaux à employer & la forme à donner aux ouvrages, la manière de garantir, des

effets de la corroſion des eaux, les ouvrages d'art qui ſont ſur ces rivières, & celle d'éviter les ponts. Enfin, nous faiſons connoître les avantages qui pourroient en réſulter pour l'état.

La deuxième ſection traite du hallage des rivières. Nous donnons d'abord l'équation générale relative au hallage, ſoit de remonte, ſoit de deſcente; d'où nous tirons toutes les formules y relatives que nous traduiſons en langage ordinaire. Cette équation nous donne la raiſon pour laquelle les rivières des pays de montagnes ne ſont pas hallables, tandis que celles des pays de plaines le ſont toujours. Nous examinons le cas où, à raiſon de la trop grande rapidité des eaux, il faut renoncer au hallage, & ſubſtituer des canaux latéraux aux rivières, ainſi que celui où l'on peut en barrer le lit pour les rendre hallables. Enfin, nous indiquons ce qu'il convient de faire pour augmenter la profondeur d'eau des rivières dont la pente eſt relative au hallage.

La troiſième ſection a pour objet la flottaiſon des rivières. Après avoir expliqué la flottaiſon par radeaux, & à pièces perdues, & avoir établi en principe que *tout corps ou ſyſtême de corps flottant ne doit jamais toucher le fond*, nous examinons les obſtacles qui s'oppoſent à la flottaiſon, & nous en concluons, que pour l'établir il faut: 1°. réduire le lit des rivières; 2°. atténuer les gros quartiers de pierres qui peuvent s'y trouver; 3°. détruire les cataractes, s'il y en a.

Dans la quatrième ſection nous traitons de la navigation intérieure de la France ; projet depuis long-tems agité, & au ſujet duquel les bâſes ne ſont pas encore convenues. Après une diſcuſſion préliminaire ſur les facilités qu'a la France à cet égard, ſur les rivières conſidérées ſous leurs rapports commerciaux, ſur les grandes vallées, & ſur les cas où l'état doit ſe charger de l'exécution des projets en général, nous fixons les idées ſur ce qu'on doit réellement entendre par ce projet. Nous en traçons la route, & nous indiquons les ouvrages d'abſolue néceſſité à exécuter pour l'effectuer. A cette occaſion nous parlons des canaux de communication à conſtruire entre les grandes vallées contiguës ; ce qui nous conduit à quelques réflexions ſur les canaux ſouterrains, & en particulier ſur celui ci-devant de Picardie.

Enfin, l'objet de la cinquième ſection eſt la navigation à la voile par la Seine juſqu'à Paris ; c'eſt-à-dire, de rendre Paris port maritime, en y faiſant aborder les vaiſſeaux qui s'arrêtent aujourd'hui à Rouen. Il n'y a perſonne qui ne ſente toute l'importance de ce projet, tant pour Paris pris individuellement, que pour le gouvernement dont elle eſt le centre. Mais en même tems on ſent qu'il ne faut abſolument rien donner au haſard, & qu'en décidant ſon exécution, non-ſeulement on doit être phyſiquement aſſuré de ſa réuſſite, mais encore qu'on doit connoître avec une

très-grande approximation les frais qui en réſulteront, frais, d'ailleurs, qui doivent être les moindres poſſibles. Or, nos principes rempliſſent toutes ces vues.

En effet, nous démontrons que la Seine a le degré de pente relatif à la navigation à la voile, & que les nombreuſes ſinuoſités, la multiplicité de ſes iſles & les divers ponts conſtruits ſur ſon cours, ne ſont pas des obſtacles qui puiſſent s'y oppoſer. Mais elle n'a pas la profondeur d'eau néceſſaire, & c'eſt cette profondeur qu'il faut lui procurer, en employant les moyens les plus ſimples & les moins diſpendieux.

Après avoir examiné ſuccinctement divers projets relatifs au même objet, & démontré les inconvéniens déſaſtreux qui réſulteroient du redreſſement du lit de la rivière, nous fixons ce projet à la ſolution du problême ſuivant : *Forcer la rivière par les moyens les plus ſimples & les plus économiques à creuſer ſon lit, & à prendre la profondeur d'eau néceſſaire pour que dans le tems même des plus baſſes eaux les vaiſſeaux qui arrivent à Rouen puiſſent remonter à la voile juſqu'à Paris.* Or, ce problême eſt réſolu par les principes déjà propoſés pour la réduction des rivières à fond de gravier & de ſable ou de limon.

Ainſi, il ne s'agit que de rétrécir le lit de la rivière par intervalles, pour la forcer à creuſer à volonté tout le long de ſon cours ; & de venir à ſon ſecours aux endroits où le fond ſeroit incorroſible.

Nous expoſons ſuccinctement tout ce qui eſt relatif à la largeur & à la diſtance des rétréciſſemens, à la nature & à la forme des ouvrages, aux précautions à prendre relativement aux digues de barrage, à la sûreté des édifices & au paſſage des ponts ſur la rivière. Nous fixons le terme de la navigation en aval du pont de la Révolution. Nous indiquons pour port un grand canal à conſtruire depuis l'Arſenal, ou à-peu-près, juſqu'à la barrière de la Conférence, en paſſant par les marais des fauxbourgs Saint-Martin, Saint-Denis, &c. Enfin, nous prouvons que ce procédé réſout complétement le problême, & nous terminons ce ſujet par des obſervations qui lèvent généralement toutes les difficultés.

Tel eſt le plan de l'ouvrage que nous publions. La théorie qu'il renferme, & qu'on peut réellement regarder comme la théorie uſuelle, & par-là véritablement utile à la ſociété, eſt, comme l'on voit, très-circonſcrite & fort ſimple, & néanmoins elle ſatisfait à tout ce qui ſe rapporte aux travaux ſur les torrens & les rivières, ſoit relativement à la réduction de leur lit pour gagner du terrein, ſoit relativement à la navigation, au hallage & à la flottaiſon. Un ſeul principe ſert de baſe à l'application de cette théorie pour les rivières: c'eſt que, quelque ſoit l'objet qu'on ſe propoſe, il faut réduire leur lit; que pour cela il ſuffit de le reſſerrer par intervalles, & qu'il faut en général employer à ces rétréciſſemens des digues perpendiculaires accom-

pagnées d'éperons parallèles à la direction qu'on doit donner au courant.

Cette théorie nous paroît neuve à bien des égards ; car ſi l'on parcourt les divers traités que nous avons ſur les rivières, on s'appercevra facilement, comme nous l'avons déjà obſervé plus haut, qu'il ſeroit impoſſible d'en déduire un ſyſtême de réduction auſſi ſimple & auſſi général. On doit remarquer d'ailleurs que tout y eſt vérifié par des expériences directes ou par des obſervations.

En 1791, le citoyen Béraud, profeſſeur de mathématiques & de phyſique expérimentale au collège de Marſeille, publia un ouvrage intitulé : *Mémoire ſur la manière de reſſerrer le lit des torrens & des rivières.* Comme dans cet ouvrage il eſt queſtion des digues perpendiculaires avec des éperons d'accompagnement, & que les journaux du tems en avoient fait mention, nous croyons en devoir dire un mot en paſſant.

Étant liés d'amitié avec le citoyen Béraud, nous lui communiquâmes en 1785 notre premier manuſcrit ſur cet objet. Lorſque la révolution ſurvint, il crut, pour des raiſons d'avancement, devoir mettre au jour les idées qu'il avoit puiſées dans cet ouvrage, mais qu'il n'avoit pas pu concevoir bien nettement. Du reſte, cette production eſt informe & inapplicable à la pratique par la manière dont l'auteur y a traité les choſes. Nous lui avons même prouvé dans des obſervations imprimées

en 1793, que ſon ouvrage ne contenoit que des aſſertions fauſſes ou des faits dénaturés, & qu'il n'avoit jamais conçu l'objet ſur lequel il avoit voulu écrire.

Au reſte, quoique notre théorie ſatisfaſſe à la réduction du lit des torrens & des rivières, ainſi qu'à la navigation, au hallage & à la flottaiſon, nous ne devons pas cependant nous diſſimuler qu'elle peut être perfectionnée par des obſervations & des expériences plus nombreuſes, & faites ſur des courans multipliés qui diffèrent entr'eux par la pente & le volume d'eau. Mais pour cela il ſeroit eſſentiel que ces obſervations & ces expériences ſe fiſſent en un grand nombre d'endroits & d'après un plan ſuivi. En conſéquence, nous croyons qu'il ſeroit à propos que le conſeil des Ponts & Chauſſées fît imprimer à cet égard un programme qui contiendroit le tableau des obſervations demandées, & la marche qu'on devroit ſuivre pour les faire. Ce programme ſeroit envoyé à tous les ingénieurs de département, avec recommandation de faire parvenir tous les ans au conſeil, le réſultat de leur travail ſur cet objet. Par ce moyen on parviendroit bientôt à avoir une maſſe d'obſervations qui, rapprochées les unes des autres, nous feroient connoître les loix les plus approximatives de la véritable théorie des torrens & des rivières.

Nos lecteurs voudront bien obſerver que cet ouvrage a été entièrement rédigé pendant notre ſéjour

à Paris, qu'obligés de nous rendre à notre poſte, ce ſéjour n'a pas été auſſi long que nous l'aurions deſiré pour la perfection de cet eſſai, & qu'il eſt poſſible qu'il s'y rencontre quelques inexactitudes que nous pouvons néanmoins donner comme très-légères, & que nous eſpérons qu'on aura l'indulgence de nous pardonner.

Au ſurplus, comme il reſte encore beaucoup à faire & à découvrir dans cette partie, nous n'avons pas la témérité de croire que notre ouvrage ne laiſſe rien à deſirer. Mais nous nous flattons néanmoins, qu'en attendant que nous ſoyons éclairés par un plus grand nombre d'expériences, on pourra employer avec avantage la théorie que nous donnons au public.

ESSAI

SUR LA THÉORIE

DES TORRENS ET DES RIVIÈRES.

1. Nous diviſerons cet ouvrage en trois parties. Diviſion de l'ouvrage.

Dans la première partie, nous traiterons de la théorie des torrens, des rivières & des torrens-rivières.

Dans la ſeconde, nous expoſerons les moyens de les réduire & d'en empêcher les ravages.

Dans la troiſième, nous parlerons de la navigation, du hallage & de la flotaiſon dont elles ſont ſuſceptibles.

PREMIÈRE PARTIE.

De la théorie des Torrens & des Rivières.

2. Dans cette partie, après avoir établi les notions préliminaires pour l'intelligence & la ſuite de cet ouvrage, nous traiterons ſucceſſivement des objets ſuivans; ſavoir: Diviſion de la première partie.

1°. De la théorie des torrens.

2°. De celle des rivières juſqu'à la mer.

3°. De celle des torrens-rivières.

4°. Enfin, des effets produits aux confluens des torrens, des rivières, & des torrens-rivières.

SECTION I.

Notions préliminaires.

§. I.

Observations sur les Montagnes.

L'étude des rivières exige la connoissance de la configuration des parties du globe.

3. LES divers élémens qui entrent dans la théorie des torrens & des rivières, dépendent essentiellement de la hauteur & de la nature des montagnes des pays parcourus dans leur cours; par conséquent il convient avant tout d'examiner la forme & la configuration de la partie de notre globe qui se trouve au-dessus du niveau des mers dont elle est entourée, ainsi que les révolutions qui paroissent y avoir eu lieu de la part des eaux; pour cela nous avons besoin de remonter à l'époque de la création de notre planète, & de consulter les monumens de la nature qu'on rencontre à chaque pas. Ce sera en suivant cette route que nous nous éclairerons sur cet objet.

Du reste, nous ne nous proposons pas de donner ici un traité de géologie, nous laissons ce soin aux savans naturalistes qui voudront traiter ce sujet, *ex professo*. Quant à nous, il nous suffira de recueillir diverses observations, desquelles nous tirerons des inductions analogues à notre objet.

Abaissement du niveau des eaux de la mer d'environ 230 toises.

4. Il est constant que, parmi les pierres connues sous le nom général de *pierres tendres*, dans la classe des pierres calcaires, la plupart ne sont qu'un assemblage d'une infinité de petits coquillages, parmi lesquels se trouvent assez fréquemment mêlées des coquilles d'huître & d'autres productions marines. Nous pourrions en citer un grand nombre

d'exemples, mais nous nous contenterons d'indiquer la barre qui traverſe le chemin d'Aix à Apt, au haut de la montagne entre Cadenet & Lourmarin, dans le département de Vaucluſe. L'on ſent bien que la formation d'un amas auſſi conſidérable de pareils coquillages a exigé que la mer y ſéjournât pendant un très-long eſpace de tems : car il eſt viſible que la choſe n'auroit pas pu s'effectuer pendant le court intervalle que l'hiſtoire de Moïſe accorde au déluge. Or, les plus hautes carrières de cette nature que nous avons rencontrées ne ſont qu'à environ 230 toiſes au-deſſus du niveau actuel de la mer. Donc, la mer a couvert pendant long-tems toutes les terres qui ſont aujourd'hui à 230 toiſes au-deſſus de ſon niveau, & puiſque ſupérieurement à ce terme il ne ſe rencontre aucun amas pareil de dépouilles marines, mais ſeulement quelques pétrifications iſolées & éparſes çà & là, il s'enſuit qu'on doit regarder la hauteur de 230 *toiſes* ou environ, comme le point au-delà duquel les eaux de la mer n'ont fait qu'un ſéjour de peu de durée à la ſuite de quelque grand bouleverſement dans l'ordre de la nature.

5. L'obſervation ſuivante prouve pareillement que dans un tems le niveau des eaux de la mer étoit beaucoup plus élevé qu'il n'eſt aujourd'hui. En parcourant les vallées au fond deſquelles ſe trouvent des rivières qui charrient du gravier, on trouve ordinairement des cailloux roulés, & ſouvent le gravier pur de ces rivières, a une très-grande hauteur au-deſſus de leur lit actuel. Il a donc exiſté une époque où le lit de ces rivières étoit beaucoup plus élevé qu'il n'eſt aujourd'hui. Or, on verra par la ſuite de cet ouvrage que, toutes choſes ſuppoſées égales, la hauteur de l'embouchure des rivières fixe celle de tous les points de leur cours. D'ailleurs, quiconque eſt obſervateur aura pu remarquer, & nous le démontrerons plus bas, qu'en barrant le lit d'une rivière par un *déverſoir*,

ce lit s'exhauſſe en amont à proportion de la hauteur de ce déverſoir, & qu'au contraire il s'abaiſſe ſi ce déverſoir eſt détruit. D'où l'on concluera évidemment qu'on aura le même effet en ſubſtituant la mer au déverſoir. Donc, puiſque le lit de toutes les rivières a été autrefois beaucoup plus élevé qu'il n'eſt à préſent, il s'enſuit que dans un tems les eaux de la mer s'élevoient beaucoup au-deſſus de leur niveau actuel.

6. Nous n'entreprendrons pas d'examiner quelle eſt la cauſe de l'abaiſſement des eaux de la mer. Cette queſtion eſt bien plus du reſſort de l'hiſtoire naturelle que de l'hydraulique. Il nous ſuffit d'avoir expoſé le fait & d'en avoir rapporté les preuves. Quant aux cauſes, nous les regardons comme étrangères à notre objet, & nous en abandonnons la recherche à ceux qui auront la curioſité de s'en occuper.

Diſcuſſion ſur l'origine des montagnes.

7. Si les plus hautes montagnes de notre globe n'avoient pas au-delà de 230 toiſes de hauteur perpendiculaire au-deſſus du niveau actuel des eaux de la mer, nous pourrions conclure, avec certitude, que lors de la création, ces eaux couvroient abſolument toute la ſuperficie de la terre; mais nous trouvons répandues par-tout des maſſes énormes de montagnes dont les ſommets s'élèvent à une bien plus grande hauteur. Telles ſont entr'autres dans l'ancien continent les Pyrénées, les Alpes, & leurs ramifications; le Caucaſe, le mont Atlas, &c.; & dans le nouveau, les Cordillières, les Apalaches, &c. Les cordillières, par exemple, dans le Pérou, ont au-delà de 3,000 toiſes. Ces montagnes, aujourd'hui diviſées en une infinité de pics & de pointes exceſſivement variées, accompagnées de déchiremens, & de précipices ſans nombre, qui ne préſentent preſque par-tout que l'image du déſordre & du bouleverſement; ces montagnes, diſons-nous, étoient-elles dans l'origine telles que nous les trouvons à préſent? C'eſt une queſtion que nous allons tâcher de réſoudre; queſtion

qu'on ne doit pas regarder comme oiſeuſe & de pure curioſité; car nous verrons par la ſuite que ſa ſolution ſe lie avec la théorie des torrens & des rivières.

8. Il eſt naturel de croire que dans l'origine des choſes le créateur a conſolidé la charpente de ſon édifice par un degré de ſtabilité au-delà du terme de l'équilibre. Il a donc dû donner un pareil degré de ſolidité aux montagnes pour empêcher qu'elles ne s'écroulaſſent d'elles-mêmes. Ce degré de ſolidité dans les montagnes dépend eſſentiellement de l'empâtement de leur baſe, ou ce qui eſt la même choſe, de l'inclinaiſon de leur talus relativement à l'horiſon ou à la ligne du niveau; or, l'angle d'équilibre pour les terres eſt de 45 degrés, & il eſt moindre pour les ſables. Donc puiſque les obſervations nous prouvent que dans une infinité de cas les rochers qui couronnent nos montagnes portent ſur des matières terreſtres, il s'enſuit que dans l'origine le penchant des montagnes devoit former avec l'horiſon un angle moindre que 45 degrés; mais il eſt très-rare que les montagnes priſes dans leur état actuel, n'aient pas quelqu'une de leurs faces dont la déclivité ne ſoit plus ardue, & ne faſſe avec la ligne de niveau un angle ſenſiblement plus grand que 45 degrés; donc un pareil état de choſes n'a pas été primordialement établi par le créateur.

D'autre part, il eſt conſtant par l'expérience journalière que ces dégradations ſont habituellement produites par les pluies, les avalanches, le gel & dégel, &c.; & il n'y a perſonne d'un certain âge qui ne ſe ſoit apperçu des progrès des déſordres produits par ces cauſes; donc, puiſque ces effets augmentent journellement, il eſt viſible qu'en rétrogradant vers l'époque de la création, ils doivent toujours décroître. Donc, lors de la création, ces cauſes n'ayant pas encore agi, ces effets ne devoient pas ſubſiſter.

Ainſi, il paroît démontré de toutes les manières, que

lors de la création les montagnes n'étoient point dégradées ni ſéparées par des vallées comme elles le ſont aujourd'hui, puiſque tous ces effets ont été produits par des cauſes qui n'ont pu agir que poſtérieurement à cette époque, & que d'ailleurs dans une infinité d'endroits les pentes exiſtantes ſont même incompatibles avec la ſtabilité.

9. Puis donc qu'il n'y avoit alors dans les chaînes de montagnes ni dégradation ni diviſion par des gorges ou vallées, il eſt bien naturel de croire que chacune de ces chaînes ne formoit qu'une ſeule et même maſſe plus ou moins convexe, mais ſupérieure à la mer, & que cette convexité ſe propageoit dans tous les ſens par une pente plus ou moins forte juſqu'à la ſuperficie des eaux qui couvroient la partie reſtante du globe. L'obſervation ſuivante le prouve d'ailleurs aſſez.

En effet, qu'on prenne la crête ou ligne culminante de toutes les chaînes de montagnes, on verra que tant d'un côté que de l'autre il ſe trouve une infinité d'autres montagnes moins élevées que celles de la crête, dont le ſommet décroît continuellement de hauteur, ou s'abaiſſe progreſſivement à meſure qu'on s'avance de toutes parts vers la mer, ou qu'on s'éloigne de la partie culminante du noyau; d'où l'on concluera, qu'avant que ces maſſes fuſſent déchirées & ſillonnées par les profondes vallées que nous y remarquons, les divers plans dont l'aſſemblage formoit leur convexité primitive, paſſoient à-peu-près par les ſommets des différentes montagnes partielles réſultantes de toutes les dégradations & de tous les déchiremens qui ont eu lieu depuis l'époque de la création : plans qui par conſéquent étoient tous inclinés vers la mer.

10. Si l'abaiſſement total du niveau des eaux de la mer s'étoit opéré tout à la fois, ou du moins dans un très-court intervalle de tems, on auroit ſans doute remarqué que la

ſuperficie des terres abandonnées par cette retraite des eaux, formoit à-peu-près la ſuite des plans inclinés qui terminoient primordialement la convexité des maſſes de chaînes de montagnes. Mais cet abaiſſement ne s'étant opéré que progreſſivement & par degrés inſenſibles, les cauſes qui ont dégradé la convexité de ces maſſes ont dû néceſſairement agir ſur les délaiſſemens de la mer à meſure qu'ils ſe découvroient, & c'eſt auſſi ce que les obſervations nous prouvent.

Accroiſſement de la ſurface des continens.

11. L'on voit donc que par l'abaiſſement progreſſif du niveau des eaux de la mer, l'étendue des continens doit habituellement s'accroître, nonobſtant la corroſion que ces eaux exercent en pluſieurs endroits ſur les côtes; car les corroſions ſe manifeſtent toujours par des eſcarpemens qui n'ont guères lieu qu'aux endroits élevés, et où les progrès de la mer s'opèrent très-lentement. Mais cet abaiſſement du niveau des eaux n'eſt pas la ſeule cauſe qui produiſe un pareil effet. Il y en a deux autres qui agiſſent d'une manière bien plus ſenſible.

La première de ces cauſes eſt l'action de la marée, qui en pluſieurs contrées, ſuivant la diſpoſition des lieux et la direction, ſoit des vents, ſoit des courans, éjecte continuellement ſur les côtes, des ſables, des galets, &c. Ces matières étrangères accumulées, exhauſſent inſenſiblement la grève, qui à l'aide, ſoit de l'induſtrie humaine, ſoit des cauſes qui agiſſent naturellement ſur la partie ſèche des continens, devient enfin ſupérieure aux ſubmerſions maritimes. Nous en avons l'exemple en pluſieurs endroits des côtes de France ſur l'Océan.

La ſeconde de ces cauſes conſiſte dans l'action des fleuves et des rivières à leur embouchure dans la mer. On ſait que dans les pluies, les eaux des fleuves et des rivières perdent leur limpidité, & que cet effet eſt occaſionné par le mêlange des terres qu'elles détachent des montagnes et de tous les endroits en pente. Ces matières ſont donc charriées par

les eaux qui les tiennent en diſſolution par leur mouvement, & qui les pouſſent à leur embouchure vers l'intérieur de la mer. Mais d'un autre côté, la mer, par ſon agitation continuelle & par ſa réaction, tend à les repouſſer & à les rejetter vers la côte. Elles ſeront donc dépoſées à l'endroit où il y aura équilibre entre la force du courant du fleuve et la réaction des eaux de la mer; & c'eſt-là qu'elles formeront des barres ou des iſles, ſuivant les circonſtances & les localités.

L'embouchure du Rhône nous offre un exemple bien remarquable de la rapidité de ce genre d'attériſſemens. On ſait qu'il y a environ quatre-vingt-cinq ans ce fleuve abandonna ſon ancien lit appellé *Bras de Fer*, pour ſe jetter dans le canal des Lônes, où il s'eſt maintenu juſqu'aujourd'hui. A cette époque, on conſtruiſit à ſon embouchure même la tour Saint-Louis. Or, depuis lors, cette embouchure s'eſt avancée dans la mer juſqu'à environ 3000 toiſes au-delà de cette tour qui peut conſtamment ſervir de terme de comparaiſon pour connoître les progrès des attériſſemens ſur cette plage.

Degré de pente de ces accroiſſemens.

12. Les terres qui compoſant la convexité des maſſes primitives des montagnes, ont été dès l'origine ſupérieures au niveau des eaux de la mer, & celles que ces eaux ont laiſſées à ſec en s'abaiſſant, ont toutes un degré de déclivité bien ſenſible; & ce degré eſt plus ou moins conſidérable ſuivant la hauteur des montagnes primitives & leur diſtance aux côtes. Mais il n'en eſt pas de même des attériſſemens dont nous venons de parler (11). Ces attériſſemens ont en général très-peu de pente. Il arrive même ſouvent que non-ſeulement ils n'en ont point du tout, mais même qu'il y a contre-pente. Dans ce dernier cas, il doit s'y former des marais, & c'eſt ce qui a particulièrement lieu dans les attériſſemens produits par la première cauſe, ainſi que l'expérience ne le prouve

que

que trop ſur les côtes occidentales de la France. Lorſqu'au contraire ces attériſſemens ne ſont pas en nature de marais, & que par conſéquent ils ont une certaine pente, cette pente eſt relative aux alluvions des fleuves & des rivières qui en ont produit l'exhauſſement par des dépôts de limon. Mais les eaux de ces fleuves ou rivières en ayant elles-mêmes très-peu en ces endroits, il eſt viſible que par leurs dépôts elles ne peuvent en donner qu'à proportion de la leur, aux attériſſemens dont nous parlons.

Dégradation des montagnes par les fondrières.

13. Nous verrons dans le courant de cet ouvrage de quelle manière les eaux des terres & des rivières ont dégradé les maſſes primitives, ainſi que les montagnes partielles qui en ſont réſultées. Mais cette cauſe n'eſt ni la ſeule ni la principale qui ait produit les grandes dégradations. Ces dégradations proviennent ordinairement des fondrières qui forment ces précipices affreux dont les flancs des montagnes ſont ſi ſouvent déchirés; & ces fondrières réſultent communément du gel & du dégel, ainſi que des avalanches qui en ſont la ſuite.

En effet, ſuppoſons qu'une montagne déjà aſſez ardue par l'action des eaux pluviales ſoit couverte d'une couche de neige d'une certaine épaiſſeur, & qu'aux approches du printems, la neige ſuperficielle fonde par l'action du ſoleil, les eaux qui proviendront de cette fonte pénétrant juſqu'à la ſurface du terrein, détruiront l'adhéſion qui exiſtoit entre la terre & la neige, & faiſant les fonctions de rouleaux qu'on met ſous les grands fardeaux pour les faire mouvoir, elles provoqueront la chûte de la neige ſur le penchant de la montagne. Or, on ſent que dans cette chûte la maſſe de la neige s'accroît continuellement : qu'il en eſt de même de la vîteſſe & de la quantité de ſon mouvement qu'on ſait être le produit de la maſſe par la vîteſſe, & que par cette prodigieuſe augmentation de force une partie des terres, & même des pierres & des rochers de la montagne doit en être détachée

pour être entraînée pêle-mêle avec les neiges de l'avalanche : ce qui eſt parfaitement conforme à l'expérience.

Cauſe des fondrières.

14. Il n'eſt pas même néceſſaire dans bien des cas que les montagnes ſe couvrent de neige pour être ainſi dégradées. La ſimple action du gel & du dégel ſuffit. On ſait que le gel & le dégel rendent les terres extrêmement friables, qu'ils attaquent même les pierres, les fendillent & les atténuent. Que, dans cet état de choſes, il ſurvienne une forte pluie, il eſt viſible que les eaux entraîneront tout ce qui ſera détaché de la maſſe & dégraderont la montagne par-tout où le gel & le dégel auront exercé leur action. Or le dégel depend, ainſi que les avalanches, de l'action plus ou moins forte du ſoleil, & cette action étant, toutes choſes d'ailleurs égales, proportionnelle à ſa durée, on ſent bien qu'elle dépend, par là-même, de l'expoſition & de la direction du penchant de la montagne qui la reçoit. Il nous reſte donc à fixer cette expoſition & cette direction.

Quelles ſont les limites des fondrières.

Fig. 1ere.

15. La fonte des neiges s'opérant ſur les montagnes, particulièrement aux environs de l'équinoxe du printems, c'eſt ſurtout dans cette ſaiſon qu'arrivent les éboulemens & les avalanches. Or, à cette époque, l'atmoſphère étant encore refroidie par les frimats de l'hiver, cette fonte ne peut guères s'opérer efficacement que par l'action continue du ſoleil pendant huit ou neuf heures. Tirons donc dans le cercle E S O N (*fig.* 1re.) les deux diamètres O E & N S qui, ſe coupant à angles droits, ſont ſuppoſés ſe diriger reſpectivement vers les quatre points cardinaux eſt, oueſt, nord & ſud, déſignés ſur la figure par leurs lettres initiales reſpectives. Le ſoleil ſera cenſé ſe lever en E & ſe coucher en O. Soient C A & C B les directions extrêmes des faces des montagnes à l'eſt & à l'oueſt qui pourront recevoir, ſans interruption, l'action des rayons ſolaires, pendant huit heures ou environ, dans le courant de la journée. Comme il n'eſt queſtion ici que d'une approximation, même fort groſſière, il ſeroit ridicule d'employer l'échafaudage des

calculs de la trigonométrie ſphérique pour déterminer la valeur des arcs horaires pris à l'horiſon E S O N. Nous ſuppoſerons donc ſimplement que ces arcs ſont les mêmes que leurs correſpondans ſur l'équateur, c'eſt-à-dire, chacun de 15 degrés.

Le ſoleil ſe levant à ſix heures, arrivera à dix heures au point F & à deux heures du ſoir au point D. Les arcs E D & F O ſeront donc chacun de huit heures. Par conſéquent, pour que les faces tournées du côté du ſoleil puiſſent recevoir ſes rayons pendant cet eſpace de tems, il faut que C D & C F ſoient reſpectivement les prolongemens de C A & C B. Il ne s'agit donc plus que d'évaluer, d'après cela, les angles N C A & N C B formés par ces deux lignes & par la ligne N C dirigée nord & ſud.

Les arcs E D & F O étant chacun de huit heures, vaudront chacun 120 degrés. Donc, les arcs A E & B O qui ſont leurs ſupplémens, vaudront chacun 60 degrés; mais ces deux derniers ont pour complémens les arcs A N & B N reſpectivement. Donc les angles N C A & N C B ſeront chacun de 30 degrés.

Donc ſi l'on a une montagne dont la crête ſinueuſe forme une portion quelconque de polygone, *toutes les faces tournées du côté du ſoleil & correſpondantes aux portions de la crête qui feront avec la ligne nord & ſud des angles au-delà de* 30 *degrés, ſeront ſujettes aux dégradations que produiſent les avalanches & les éboulemens; & elles ne ſeront qu'accidentellement dans ce cas, lorſque cet angle ſera au-deſſous de* 30 *degrés.*

16. De-là nous conclurons que les penchans des montagnes poſtérieurs & oppoſés à ceux dont nous venons de parler, ne ſeront que caſuellement ſujets à ces dégradations. Car pour cela, devant éprouver l'action du ſoleil pendant environ huit heures, il faudroit que cet aſtre reſtât au moins ſeize heures ſur l'horiſon; & ſi la montagne étoit dirigée ſuivant O E, il faudroit qu'il y reſtât vingt-quatre heures; ce qui n'eſt pas poſſible. Il eſt vrai que dans ce cas le ſoleil

peut éclairer pendant assez long-tems les revers de ces montagnes. Mais comme ce n'est qu'en les effleurant & d'une manière très-oblique, l'action de ces rayons y devient à-peu-près nulle.

Toutes les montagnes sont en pente douce du côté du nord.

17. Nous pouvons donc dire en général, que les montagnes qui nous paroissent les plus ardues, ont toujours au moins une de leurs faces qui est en pente douce, & que cette face est constamment tournée du côté du nord & opposée au soleil. C'est ce que nous avons toujours remarqué dans la partie des Alpes comprise dans la ci-devant Provence. Ceux qui ont parcouru les montagnes de la Suisse, des Pyrénées, &c. peuvent aussi avoir fait de semblables observations.

Les ouvrages publics doivent être construits sur les faces qui regardent le nord.

18. Supposons à présent qu'une rivière bordée de chaque côté par une chaîne de montagnes qui ne laissent à-peu-près que l'espace nécessaire au passage des eaux, ait sa direction du nord-est au sud-ouest, & qu'il faille de nécessité placer un ouvrage d'utilité publique, tel, par exemple, qu'un chemin, dans cette vallée, ainsi que la chose arrive journellement dans les pays de montagnes. L'angle formé par cette direction & par la ligne nord & sud excédant 30 degrés, on peut être persuadé (15) que la face de cette vallée qui regarde le soleil sera assez généralement dégradée; tandis qu'il n'en sera pas de même de celle qui sera du côté du nord (16). Or dans ce cas, on voit évidemment que si l'on place l'ouvrage à construire sur la première face, il sera exposé à être fréquemment ruiné, & qu'on ne courra pas les mêmes risques en l'établissant sur la face qui regarde le nord.

Utilité de ces observations pour la tactique.

19. Ces observations peuvent être aussi de la plus grande utilité dans la tactique. Qu'il s'agisse, par exemple, d'aller attaquer l'ennemi retranché au haut d'une montagne qui n'offre que des précipices, on doit être assuré, par tout ce que nous avons dit à ce sujet, que la face du nord sera

acceſſible, & que c'eſt de ce côté qu'il faudroit diriger l'attaque.

Et pour faire connoître les projets aux Adminiſtrations.

20. Ces mêmes obſervations peuvent auſſi faciliter dans une infinité de cas la dreſſe des projets des ingénieurs, & diriger d'une manière aſſez sûre le jugement des Adminiſtrations, car il ne faut avoir pour cela qu'une carte bien détaillée, qui préſente exactement les montagnes & les vallées des localités; en comparant la direction de ces montagnes avec la ligne nord & ſud, on pourra, ſans ſe porter ſur les lieux, prévoir & préjuger les obſtacles & les facilités, du moins juſqu'à un certain point.

Exception à la règle ſur les limites des fondrières.

21. Nous avons dit (15 & 16) qu'il étoit poſſible que caſuellement & accidentellement les penchans à l'abri des dégradations ſolaires par leur direction, & leur poſition vers le nord n'en fuſſent pas quelquefois exempts. Suppoſons en effet d'une part, que par l'action d'une rivière qui en corrodera la baſe, & à la ſuite de défrichemens mal entendus, ces penchans ſoient parvenus à un certain degré de déclivité; & de l'autre, qu'il y ait en divers endroits des filtrations de ſources, il eſt viſible que dans ce cas ces penchans ſeroient dans la claſſe de ceux dont nous avons parlé (13), avec cette différence que les éboulemens toujours occaſionnés par les eaux, ſeront de terre & non de neige, & qu'ils auront ſurtout lieu après les longues pluies. Mais ce cas eſt particulier, & ne peut être regardé comme une preuve contraire à ce que nous avons dit.

22. Quoique les fondrières ne ſe rapportent pas directement aux dégradations qui ont été produites ſur les maſſes de montagnes, par les torrens & les rivières; cependant, comme cet objet tient à la déclivité des montagnes; que cette déclivité eſt un des élémens de la théorie des torrens & des rivières; que d'ailleurs, ce même objet a un très-grand rapport avec les travaux du reſſort du génie, & que perſonne,

que nous ſachions, n'en a parlé juſqu'à préſent, nous avons cru, d'après ces motifs, devoir l'expoſer dans cet ouvrage, comme pouvant être utile dans un grand nombre de cas, & ſur-tout, lorſqu'il s'agit de la conſtruction de chemins dans les pays de montagnes.

Nous allons à préſent parler de l'origine des ſources & des fontaines, dont les eaux réunies forment les fleuves & les rivières.

§. II.

De l'origine des Sources & des Rivières.

L'air & la chaleur ſont les principaux agens des ſources.

23. Ce ſujet a déjà été traité fort au long & dans le plus grand détail, par un grand nombre d'auteurs, parmi leſquels on diſtingue ſur-tout Mariotte : ainſi, nous n'en dirons que deux mots en faveur de ceux de nos lecteurs qui n'auront pas encore des connoiſſances exactes à cet égard.

L'air & la chaleur étant les deux agens principaux qui coopèrent à la formation des ſources, il eſt eſſentiel d'établir, avant tout, quelques principes qui s'y rapportent, & qui ſervent de baſe à cet objet.

L'air eſt eſſentiellement néceſſaire à la vie.

24. *L'air eſt eſſentiellement néceſſaire à la vie.* Les expériences multipliées qu'on a faites, par le moyen de la machine pneumatique, ne laiſſent aucun doute à cet égard. Qu'on mette un oiſeau, ou tout autre animal, ſous le récipient, & qu'on faſſe enſuite le vuide, on verra bientôt cet animal expirer.

L'air enveloppe tout le globe.

25. *L'air eſt répandu tout autour du globe terreſtre.* Car les voyageurs ſont montés au ſommet des plus hautes montagnes; donc (24) il y avoit de l'air. D'ailleurs, la même choſe eſt prouvée par les voyageurs aériens, qui, de nos jours, ſe ſont élevés à de très-grandes hauteurs, par le moyen des aéroſtats.

L'air, ainſi répandu autour de la terre, forme ce que nous appellons l'*atmoſphère.*

26. *L'air eſt un fluide compreſſible & élaſtique.* Les ballons à jouer en ſont une preuve à la portée de tout le monde. On ſait que ces ſortes de ballons ſont remplis d'air comprimé, & l'on voit qu'en tombant à terre, ils ſe relèvent à pluſieurs repriſes.

L'air eſt compreſſible & élaſtique.

27. *Le poids d'une colonne d'air de l'atmoſphère eſt égal à celui d'une colonne d'eau de même baſe & de 32 pieds de hauteur.* La preuve en eſt, que dans les pompes aſpirantes, l'eau qui monte par la ſeule preſſion de l'air, ne s'élève que juſqu'à cette hauteur.

Poids d'une colonne d'air.

28. D'où il ſuit que *l'air eſt un fluide peſant.* Car (27) ſi la colonne entière a un poids, les parties intégrantes doivent auſſi en avoir un, puiſque le poids du tout ſe compoſe de celui des parties.

Donc l'air eſt un fluide peſant.

29. L'expérience prouve que le poids de l'air, pris à la ſurface de la terre, n'eſt qu'environ que la huit centième partie de celui de l'eau: d'où on conclut que le pied cube d'eau peſant ſoixante-dix livres, *le pied cube d'air pèſe à-peu-près 1,4 onces.*

Poids d'un pied cube d'air à la ſurface de la terre.

30. *La denſité de l'air décroît en s'élevant au-deſſus de la ſurface de la terre.* Soient ABCD (*fig.* 2.) la ſurface de la terre, & A'B'C'D' la ſurface préſumée de l'atmoſphère. Partageons l'air de l'atmoſphère en une infinité de couches concentriques à la terre, & déſignées par les nombres naturels 1 2 3 4, &c. chaque couche ſera chargée du poids de toutes les couches ſupérieures. Donc la couche 1 ſera plus chargée que la couche 2; celle-ci plus que la couche 3, & ainſi de ſuite. Mais (26) l'air eſt compreſſible. Donc, plus il ſera chargé, plus il ſera comprimé, & plus il aura de denſité: donc les couches inférieures ſeront plus denſes que les couches ſupérieures, & par conſéquent la denſité de l'air doit continuellement décroître en s'élevant au-deſſus de la ſurface de la terre.

La denſité de l'air décroît en s'élevant au-deſſus de la ſurface du globe.

Fig. 2.

L'expérience vient à l'appui de cette démonſtration. Ceux qui ſont montés au ſommet des plus hautes montagnes, ou qui

ſe ſont élevés à une très-grande hauteur par le moyen des aéroſtats, ſe ſont apperçus que leur reſpiration y étoit gênée; ce qui ne pouvoit avoir lieu que par un excès de rareté dans l'air.

Conſéquence qui en réſulte pour l'aſcenſion des corps légers.

31. Donc, *ſi un corps eſt ſpécifiquement plus léger que la couche d'air dans laquelle il ſe trouve, il s'élevera juſqu'à ce qu'il ſoit parvenu à la couche de même denſité.* La choſe eſt démontrée par les principes d'hydroſtatique. En effet, un corps plongé dans un fluide, perd autant de ſon poids que pèſe le volume de fluide déplacé. Donc, ſi le corps pèſe moins qu'un pareil volume de fluide, il ſera pouſſé de bas en haut par le fluide, avec une force égale à la différence des poids : donc le corps ne s'arrêtera que lorſque cette différence ſera nulle; c'eſt-à-dire, lorſqu'il ſera parvenu à une couche de même peſanteur ſpécifique.

La choſe eſt d'ailleurs prouvée par l'aſcenſion des ballons aéroſtatiques qui s'élèvent par l'action du feu. Ces ballons montent juſqu'à la hauteur des couches d'air, dont la denſité eſt telle que le volume déplacé pèſe autant que le ſyſtême; mais ils deſcendent à meſure que la chaleur diminuant, l'air entre dans la machine, & le ſyſtême devient plus peſant.

La chaleur convertit l'eau en vapeurs.

32. *L'action du feu ou la chaleur convertit l'eau en vapeur.* On ſait, en effet, par expérience, que la chaleur dilate tous les corps; elle doit donc produire, & elle produit réellement le même effet ſur l'eau.

C'eſt auſſi ce qui eſt amplement prouvé par toutes les opérations chimiques. Mais comme ces opérations ne ſont pas connues de tout le monde, & que nous voulons nous mettre à la portée de tous nos lecteurs, nous allons citer un exemple qui n'eſt ignoré de perſonne.

Qu'on mette ſur le feu un vaſe avec de l'eau, & qu'on couvre ce vaſe d'un couvercle, auſſi-tôt que la chaleur commence à ſe faire ſentir à l'eau, on s'appercevra que le deſſous du couvercle devient

devient humide : or, cette humidité ne peut provenir que de l'eau contenue dans le vaſe, & qui s'élève en vapeur.

L'eau s'évapore ſans mêlange de parties hétérogènes.

33. *Si l'eau contenue dans le vaſe eſt mêlée avec des parties hétérogènes, ces dernières reſteront dans le vaſe, & l'eau ſeule s'évaporera.* C'eſt ce qu'on voit évidemment, dans le cas où le vaſe dont nous venons de parler ſeroit une caſſerolle contenant un ragoût quelconque : l'eau ſeule s'attache à ſon couvercle.

L'action du ſoleil convertit l'eau en vapeurs.

34. *L'action du ſoleil produit ſur l'eau le même effet que celle du feu.* Car les rayons ſolaires ſont toujours accompagnés d'une certaine chaleur. Cette chaleur doit donc opérer le même effet que celle du feu, dont nous venons de parler (32 & 33).

On peut d'ailleurs s'en convaincre par l'expérience. Qu'on expoſe au ſoleil un vaſe avec de l'eau, on s'appercevra que le volume de cette eau diminuera d'autant plus que la chaleur du ſoleil ſera plus grande.

Volume de l'eau convertie en vapeurs.

35. *L'eau convertie en vapeurs, peut occuper un volume* 14000 *fois plus grand que dans ſon état naturel.* La choſe eſt démontrée par des expériences qu'on trouve dans tous les ouvrages de phyſique. Nous obſerverons ſeulement ici que le volume de l'eau convertie en vapeur eſt d'autant plus grand, que la chaleur eſt plus forte ; ce qui eſt naturel, les effets étant toujours proportionnels aux cauſes qui les produiſent.

L'eau convertie en vapeur s'élève dans l'athmoſphère.

36. Nous avons dit ci-deſſus (29) que la peſanteur ſpécifique de l'eau priſe dans ſon état naturel eſt à celle de l'air priſe à la ſurface de la terre :: 1 : 800 ou à-peu-près donc :

1°. Si l'eau convertie en vapeur prend un volume de 800 fois plus grand que celui qu'elle a dans ſon état naturel, elle ſera, dans ce nouvel état, de même denſité que l'air ambiant avec lequel elle ſe mêlera alors néceſſairement : car telle eſt la propriété de deux fluides de même denſité.

2°. Si cette eau prend par l'évaporation un volume plus conſidérable, elle doit s'élever à travers les couches d'air qui ſeront plus denſes de la même manière, que l'huile, par

exemple, s'élève à travers l'eau ; & elle montera jusqu'à la hauteur de la couche qui sera de même densité (30 & 31).

La moindre chaleur suffit pour l'évaporation de l'eau.

37. *L'eau n'a besoin que d'un très-petit degré de chaleur pour prendre le volume relatif à l'évaporation.* C'est encore une observation que tout le monde peut faire. On verra que dans le vase mentionné ci-dessus (32) l'humidité se manifeste au-dessous du couvercle avant que l'eau soit parvenue à l'état de tiédeur.

L'action du vent produit aussi l'évaporation de l'eau.

38. *L'action du vent produit aussi l'évaporation de l'eau.* Pour le démontrer, supposons une superficie déterminée couverte d'eau. Le vent n'étant autre chose que l'agitation de l'atmosphère, renouvellera continuellement la colonne d'air qui répond à cette superficie, & en même tems il atténuera & divisera les parties d'eau les plus exposées à son action. Ces particules ainsi atténuées deviendront plus légères que la couche d'air contigu, & s'élèveront dans l'atmosphère.

Si l'on veut s'en assurer par l'expérience, qu'on expose au vent un vase découvert & plein d'eau ; on ne tardera pas de s'appercevoir de l'évaporation, par l'abaissement de la superficie de cette eau.

D'autre part, qu'on jette les yeux sur l'horizon ; on le verra bien plus chargé de vapeurs par un tems couvert, que par un tems calme.

L'évaporation des eaux sur la surface du globe forme les nuages & les pluies.

39. Ces principes préliminaires posés, il nous sera aisé d'expliquer l'origine des eaux qui alimentent nos sources & nos rivières.

Les eaux couvrent la plus grande partie de la surface de notre globe, soit par la mer, soit par les lacs, les étangs, & les marais ; soit enfin par les fleuves & les rivières. Les parties superficielles de ces eaux étant immédiatement exposées à l'action des rayons solaires & des vents, sont converties en vapeurs, (34, 37 & 38) & elles s'élèvent à une certaine hauteur dans l'atmosphère (36 2°.) sans aucun mêlange de parties salines

ni étrangères quelconques (33). C'eſt-là que ſuivant la nature & la direction des vents qui règnent dans cette région de l'air, ces vapeurs ſe condenſent, forment des nuages, & devenant plus peſantes que l'air, tombent ſur la ſurface de la terre, tantôt ſous la forme de pluie douce, tantôt par *averſe*, et ſous la forme d'orage, ſelon les circonſtances & l'état de l'atmoſphère. Telle eſt l'origine des eaux pluviales. Or, ce ſont ces eaux qui alimentent nos ſources & nos rivières, ainſi que nous allons voir.

Quelle eſt la quantité d'eau pluviale qui tombe dans une année.

40. Il tombe moyennement & annuellement en France une couche d'eau pluviale de 20 pouces ou environ d'épaiſſeur. Sur le reſte de la ſurface du globe, il y a quelque pays où il en tombe moins. Mais en compenſation, il y en a pluſieurs où il en tombe une beaucoup plus grande quantité. Il y en a même quelques-uns où il en tombe près de 100 pouces. Ces variations, dans la quantité d'eau pluviale, dépendent de la direction des vents qui pouſſent les nuages, de la poſition, ainſi que de la hauteur des chaînes de montagnes qui les arrêtent, &c. Nous ne pouvons pas dire que la quantité moyenne d'eau pluviale qui tombe annuellement en France ſoit la quantité moyenne qui tombe ſur le globe : car la plupart des autres pays, tant du nord que du midi, ayant des pluies beaucoup plus abondantes que nous, tout nous indique au contraire que cette quantité moyenne doit être au-deſſus de 20 pouces pour toute la ſurface de la terre. Mais comme les obſervations météorologiques nous manquent à cet égard, nous ne pouvons pas aſſigner cette quantité d'une manière auſſi préciſe que pour la France. Il s'agit de ſavoir à préſent ſi l'évaporation ſeule peut ſuffire à une auſſi grande quantité d'eau.

Quelle eſt l'évaporation annuelle.

41. Dans la partie méridionale de la France, l'évaporation annuelle ſur la ſurface des lacs, & des étangs, eſt ordinairement de 36 pouces, lorſqu'il règne beaucoup de vents,

ou des grandes chaleurs, elle va juſqu'à 40 pouces, & en général c'eſt-là ſon *maximum*. Quelquefois auſſi elle eſt moindre que 36 pouces; & cela par la raiſon contraire. Mais 36 *pouces doivent être regardés comme le terme moyen de l'évaporation annuelle dans tout le midi de la France.*

42. On ſent facilement que cette évaporation doit être plus grande dans les pays plus voiſins de l'équateur, & qu'elle doit être moindre dans ceux plus voiſins des pôles; les premiers étant plus chauds & les ſeconds plus froids. Cependant comme la partie méridionale de la France eſt ſous la latitude moyenne de 45 degrés, nous pouvons regarder l'évaporation moyenne qui y a lieu, comme l'évaporation moyenne ſur toute la ſurface du globe. Ainſi *l'évaporation moyenne & annuelle qui a lieu ſur les mers, les lacs, les étangs, les marais, les fleuves & les rivières, ſur toute la ſurface du globe, doit être préſumée d'environ 36 pouces.*

L'évaporation annuelle ſuffit amplement pour fournir aux pluies.

43. D'où il eſt aiſé de conclure (40) que *l'évaporation qui a lieu ſur les eaux dimiſſénées ſur la ſuperficie du globe, ſuffit amplement pour fournir aux pluies.*

Voyons à préſent quel eſt le mécaniſme dont la providence ſe ſert pour alimenter les ſources & les rivières par le moyen des pluies.

Diviſion des eaux pluviales en diverſes claſſes.

44. Parmi les eaux pluviales, les unes s'écoulent ſuperficiellement à meſure qu'elles tombent, & elles ſe rendent directement & immédiatement aux torrens & aux rivières dont elles forment les crues. C'eſt ce qui arrive ſur-tout par les orages & les *averſes;* parce que, dans ce cas, les eaux n'ont pas le tems de filtrer à travers les terres. Les autres, au contraire, & ce ſont celles qui réſultent des pluies douces ou de la fonte inſenſible des neiges; les autres, diſons-nous, pénètrent inſenſiblement & s'inſinuent dans la terre. Ces dernières doivent être diviſées en trois claſſes.

Les eaux de la première claſſe ſont celles qui, humectant

les terres ſuperficielles, ſont enlevées de nouveau par l'évaporation produite par l'action, ſoit du vent, ſoit du ſoleil; on le voit évidemment dans les campagnes. Peu après une pluie, la couche de terre de la ſuperficie eſt tout-à-fait sèche, tandis que les couches inférieures conſervent leur humidité.

Les eaux de la ſeconde claſſe ſont celles qui ſont employées à la végétation de toutes les plantes.

Enfin, les eaux de la troiſième claſſe ſont celles qui après avoir plus ou moins filtré dans l'intérieur de la terre, reviennent à la ſurface & forment les ſources & les fontaines. Nous allons voir de quelle manière elles rempliſſent cet objet.

Comment les eaux pluviales forment les ſources.

45. Les fondrières des montagnes, en nous préſentant des flancs tout-à-fait dégradés & preſque taillés à pic, nous découvrent une infinité de couches de différentes matières, telles que de pierre, d'argile, &c. Ces couches ſont ordinairement parallèles entr'elles : rarement elles ſont horizontales ou de niveau, & preſque toujours elles ſont plus ou moins inclinées. Or, ce n'eſt pas-là ſeulement la contexture des montagnes. Les pays en plaine nous offrent la même conformation intérieure, ainſi qu'on s'en eſt convaincu par les profondes excavations qui ont été faites en divers endroits.

D'autre part, en parcourant les montagnes dont la ſuperficie a ſubi des dégradations tant ſoit peu conſidérables, nous rencontrons à chaque pas des cavernes plus ou moins grandes; ſur le nombre, on en voit pluſieurs d'une capacité immenſe, & dont on n'a jamais pu trouver la fin. Dans preſque toutes on remarque des filtrations d'eau qui s'amaſſent au fond, & y forment des réſervoirs; d'où l'on peut conclure qu'il y en a une infinité d'occultes, & qui néanmoins ont les mêmes propriétés que celles qui ſont acceſſibles.

Cela poſé, ſi les eaux pluviales de la troiſième claſſe (44),

après avoir plus ou moins filtré, rencontrent une couche imperméable, telle, par exemple, qu'une couche d'argile, de pierres ſans gerçures, &c.; elles ſuivront cette couche dans le ſens de ſa pente, juſqu'à ce qu'elles arrivent à la ſurface du terrein où elles paroîtront en plus ou moins grande quantité, ſuivant l'étendue de la ſuperficie dont les eaux, ainſi filtrées, auront été interceptées par cette même couche. Ces exemples ſont très-fréquens dans les montagnes à fondrières où l'on peut s'aſſurer du fait à chaque pas.

Si cette couche, qui intercepte les eaux filtrées aboutit à une caverne, les eaux s'y amaſſeront au fond, & parvenues à un certain point d'élévation, elles ſe feront jour par la charge ou preſſion, & s'évacueront en ſuivant quelque autre couche d'argile ou de rocher. C'eſt de-là que nous viennent les ſources tant ſoit peu abondantes.

Preuve qui conſtate que les ſources proviennent des eaux pluviales.

46. L'obſervation ſuivante prouve d'une manière bien ſenſible, que c'eſt aux eaux pluviales de la troiſième claſſe (44) que nous devons les ſources dont nous venons de parler. Ces ſources augmentent toujours après les pluies longues & douces, & leur augmentation eſt d'autant plus grande, que ces pluies durent plus long-tems; au contraire, elles diminuent par un tems de ſéchereſſe; quelquefois même elles tariſſent, lorſque la ſéchereſſe eſt fort longue. Donc, puiſque les variations des ſources ſont conſtamment proportionnelles à celles des pluies, il eſt viſible, par ce rapport, que les ſources proviennent des eaux pluviales, ainſi que nous l'avons dit (45).

47. Nous avons dit (45), que les cavernes nous donnoient les ſources tant ſoit peu conſidérables; en effet, on ſent au premier abord, qu'une caverne doit couper un grand nombre de couches, & ſur une étendue proportionnelle à ſa capacité. Elle recevra donc une quantité d'eau d'autant plus grande à proportion. Il peut même arriver qu'elle intercepte les écoule-

mens d'autres cavernes; ce qui augmentera d'autant plus le volume de ſes eaux.

Comment ſe forment les grandes ſources telles que celle de Vaucluſe.

48. Comme une rivière reçoit dans ſon lit un plus ou moins grand nombre de torrens & de rivières, ſuivant la longueur de ſon cours, & que ſon volume d'eau ſe groſſit à proportion par les eaux de tous ces affluens; de même auſſi, un écoulement ſouterrain peut en recevoir pluſieurs autres ſur ſa route intérieure, & former ainſi, ſuivant les circonſtances, une ſource plus ou moins volumineuſe. C'eſt ainſi, ſans doute, que ſe forme entr'autres la fameuſe fontaine de Vaucluſe, en ramaſſant ſur ſa route une partie des eaux de la chaîne de montagnes du *Léberon*.

Les ſources des pays de plaine ſe perdent ſouvent au-deſſous du niveau des eaux de la mer.

49. Il peut arriver que la couche conductrice aboutiſſe au-deſſous du niveau des eaux de la mer. Dans ce cas, l'évacuation ſe fait immédiatement dans le ſein même de la mer, & alors elle eſt inviſible.

C'eſt ce qui doit arriver, ſur-tout, aux eaux pluviales des pays en plaine. Dans ces pays, les eaux pluviales de la troiſième claſſe (44), ſont beaucoup plus abondantes que dans les pays de montagnes, dont la déclivité s'oppoſe à la filtration. Il devroit donc y avoir plus de ſources dans les pays de plaine que dans ceux de montagnes, & cependant c'eſt le contraire; par conſéquent, ces eaux ne peuvent s'évacuer en grande partie qu'au-deſſous du niveau de la mer.

50. Mariotte avoit comparé la dépenſe d'eau de la Seine, priſe à Paris, avec la quantité d'eau pluviale qui tombe ſur les pays qui fourniſſent tant à cette rivière qu'à ſes affluens. Des auteurs italiens ont fait la même comparaiſon entre la dépenſe du Pô, en Lombardie, & les eaux pluviales des pays qui alimentent ce fleuve & les rivières qu'il reçoit. Les uns & les autres ſe ſont convaincus par les réſultats de leur comparaiſon que l'origine des fontaines & des rivières n'eſt due qu'aux eaux pluviales, ainſi que nous l'avons démontré.

Concluſion de la diſcuſſion ſur l'origine des ſources.

51. Nous pourrions entrer ici dans un grand nombre de détails auſſi curieux qu'intéreſſans : car on ſent que le champ eſt fort vaſte. Mais nous ne nous ſommes propoſés que de faire connoître l'origine & la cauſe des ſources & des rivières. Nous croyons avoir rempli cette tâche, par ce que nous venons de dire à cet égard, ainſi nous ne pouſſerons pas plus loin ce ſujet.

Nous concluerons ſeulement, en terminant ce paragraphe, que, d'après tout ce que nous avons dit ſur cet objet:

1°. Les eaux des ſources ſe rendant aux torrens & aux rivières, comme aux endroits les plus bas, alimentent ces torrens & ces rivières dans leur état habituel.

2°. Les eaux des ſources devenant plus ou moins abondantes ſuivant les pluies ou la ſéchereſſe(46), les torrens & les rivières participent à cette augmentation ou à cette diminution.

3°. Les eaux pluviales qui s'écoulent ſur la ſurface de la terre ſans aucune eſpèce de filtration, ſont celles qui occaſionnent les crues des torrens & des rivières, ainſi qu'il a été dit (44). C'eſt dans ce dernier état que ces courans ſont pernicieux, & qu'ils méritent de fixer notre attention pour en prévenir les ravages.

§. III.

Obſervations générales ſur les Torrens & les Rivières.

52. Nous avons dit(8) que l'expérience journalière prouvoit que les eaux pluviales étoient la principale cauſe de la diviſion des maſſes totales primitives (9) en une infinité de montagnes partielles ; nous expoſerons, dans les ſections ſuivantes, les loix d'après leſquelles cette cauſe a agi. Mais, en attendant, il convient d'entrer ici dans quelques détails préliminaires à ce ſujet.

53.

Les masses de montagnes sont sillonnées de vallées de divers ordres.

53. Si l'on jette les yeux sur un pays montueux, on verra 1°. que les montagnes n'ont pas de penchans unis & continus, &, qu'outre les fondrières & les précipices dont nous avons parlé (13), ces penchans sont sillonnés en général d'une infinité de bas-fonds & de ravins où les eaux pluviales se rendent comme aux endroits les plus bas, & par où elles s'écoulent; 2°. que tous ces ravins se réunissent ensuite successivement dans des vallons qui se forment au bas des montagnes & qui séparent ces mêmes montagnes les unes d'avec les autres; 3°. Enfin que ces vallons se réunissent, de la même manière, dans des vallées encore plus basses & qui séparent non seulement les montagnes, mais encore les chaînes des montagnes & leurs ramifications.

Ces vallées ont été formées par les eaux pluviales.

54. Tous ces déchiremens des masses primitives ont été produits par les eaux pluviales, ainsi qu'on va voir.

Supposons qu'un orage soit tombé sur une des masses primitives: les eaux de cet orage étant trop abondantes pour être absorbées par la terre à mesure qu'elles tomboient, une partie aura commencé à s'écouler sur le penchant, comme sur un plan incliné le long duquel sa vîtesse se sera continuellement accélérée. D'autre part, son volume, en descendant, se sera aussi continuellement accrû. La force augmentant donc, à chaque instant, par l'augmentation du volume & de la vîtesse, cette partie des eaux non absorbées aura agi sur le penchant, & aura commencé à le sillonner de ravins dont la position & la direction auront été relatives aux circonstances & aux localités.

Le cours des eaux superficielles augmentant, ces ravins partiels se seront réunis successivement, & le volume d'eau qu'ils auront fourni s'augmentant ainsi continuellement, aura creusé un ravin commun du second ordre, beaucoup plus considérable que les ravins partiels & primitifs ou du premier ordre.

Les ravins du second ordre venant pareillement à se réunir entr'eux, auront formé des ravins d'un ordre supérieur dont le

volume d'eau & les dimenſions auront été d'autant plus conſidérables, qu'ils s'éloignoient davantage du point culminant de la maſſe primitive.

Que dans la ſuite il ſoit ſurvenu d'autres orages, le lit de tous ces ravins ſe ſera toujours plus agrandi & plus approfondi, juſqu'à ce qu'il ait pu prendre un degré de pente relatif au volume d'eau, à l'éloignement de la mer & à la hauteur de la maſſe ſillonnée.

On ſent, au premier abord, que ces ravins de tous les ordres devenant toujours plus profonds, & les terres des maſſes primitives étant continuellement emportées par ces eaux d'orage, ces mêmes maſſes auront dû ſe partager en une infinité de montagnes partielles, telles que celles qui forment le grouppe des Alpes, des Pyrénées, des Cordillières, &c.

On ſent auſſi facilement que tous ces ravins de différens ordres ont dû produire pareillement des vallées plus ou moins grandes & plus ou moins étendues proportionnellement au volume des eaux qu'ils recevoient; vallées qu'on doit auſſi, par la même raiſon, diſtinguer par ordres.

On ſent enfin que toutes ces vallées devant être néceſſairement ſéparées entr'elles par des chaînes de montagnes, il en eſt réſulté que les grouppes ſe ſont partagés en une infinité de ramifications plus ou moins étendues, ſuivant les lieux & les circonſtances.

La raiſon nous dit aſſez que telle a été, ſans contredit, l'origine de toutes les vallées qui ſillonnent les continens & les iſles.

Plus un pays eſt montueux, plus on y trouve des ſources.

55. Nous avons remarqué (45) que les montagnes étoient compoſées de couches de diverſes matières; d'où l'on doit conclure que telle étoit auſſi la contexture intérieure des maſſes primitives ſupérieures au niveau de la mer. Ces couches des maſſes primitives ont donc été coupées & interrompues par la formation des vallées. Et puiſque, d'après ce nous avons dit au

même n. 45, ces mêmes couches ſont les conducteurs des eaux de ſource; il s'enſuit que ces eaux ſont aujourd'hui interceptées en très-grande partie par les vallées où elles doivent néceſſairement ſe rendre comme aux endroits les plus bas, ainſi qu'il a déja été dit (51 1°.); & c'eſt la raiſon pour laquelle plus un pays eſt montueux, plus on trouve de ſources.

La réunion des eaux des ſources forme les fleuves & les rivières.

56. Les eaux de ces ſources tombent d'abord dans les ravins & les fondrières, dont les torrens & les avalanches ont ſillonné nos montagnes. C'eſt par cette voie qu'elles ſe rendent enſuite aux vallées des ordres ſupérieurs, pour former & alimenter les fleuves & les rivières dans leur état ordinaire.

Le volume d'eau des rivières augmente par les pluies, & diminue par la ſéchereſſe.

57. Nous avons obſervé (46), que le volume des ſources varioit ſuivant les tems; qu'il augmentoit par une pluie longue & douce, & qu'il diminuoit par la ſéchereſſe. D'où il ſuit que les rivières doivent éprouver les mêmes viciſſitudes dans les mêmes circonſtances; c'eſt-à-dire, qu'abſtraction faite des eaux pluviales qui s'écoulent ſur la ſuperficie de la terre, ſans filtrer dans l'intérieur, leur volume augmentera par une pluie longue & douce, & qu'il diminuera par la ſéchereſſe; ce qui eſt conforme à l'expérience journalière.

Rapport des volumes d'eau de deux rivières.

58. Les eaux de ſource provenant des eaux pluviales, & étant, en général, aſſez uniformément interceptées par les vallées, on peut dire qu'aſſez ordinairement le volume réuni de ces eaux, doit être à-peu-près en proportion avec la ſuperficie qui les fournit, toutes choſes d'ailleurs ſuppoſées égales. Donc, puiſque (56) ce ſont ces eaux qui forment les rivières dans leur état ordinaire, l'on peut dire que le *volume des eaux de deux rivières qui prennent leurs ſources dans des pays de montagnes, eſt à-peu-près proportionnel à la ſuperficie du terrein qui les alimente.*

La même comparaiſon aura pareillement lieu entre les volumes ordinaires d'eau de deux rivières en pays de plaine, puiſqu'elles ſont auſſi formées par les eaux de ſources. Mais on

ne pourroit pas établir une pareille comparaiſon entre deux rivières, dont l'une ſeroit en pays de plaine, & l'autre en pays de montagnes; car nous avons vu (55) que plus un pays eſt montueux, plus il y a de ſources.

Utilité de ce rapport dans le génie civil & militaire.

59. Ce que nous venons de dire (58), peut être très-utile pour l'organiſation de pluſieurs projets, ſur-tout relativement à la navigation & à la flottaiſon des rivières, ainſi qu'à la dérivation des canaux d'arroſage, où l'on a eſſentiellement beſoin de connoître, du moins à-peu-près, le volume d'eau ordinaire des rivières ſur leſquelles on a à opérer. En effet, ſi l'on connoiſſoit le volume d'eau ordinaire d'une rivière, & la ſuperficie du terrein qui le fournit, il eſt viſible que par le moyen d'une carte bien exacte, on pourroit, avant de ſe porter ſur les lieux, déterminer, à quelque choſe près, par comparaiſon, celui de la rivière dont il s'agit.

La même choſe peut auſſi être très-avantageuſe dans beaucoup de circonſtances, pour les opérations militaires en pays ennemi; car, pour tenter, par exemple, le paſſage d'une rivière, il importe beaucoup de connoître, entr'autres choſes, la maſſe ordinaire de ſes eaux.

Dans l'un & l'autre cas, la choſe mérite d'être priſe en conſidération avec d'autant plus de raiſon, que les Adminiſtrations pourroient, en quelque façon, juger, ſoit des projets, ſoit des opérations qui s'y rapportent, ſans ſe tranſporter ſur les lieux; & que, pour cela, une carte bien exacte & amplement détaillée leur ſuffiroit.

60. Du n. 58 il ſuit que le volume ordinaire des eaux d'une rivière, augmente ou diminue d'autant plus qu'on s'éloigne ou qu'on s'approche davantage de ſon origine,

Car 1°. plus on s'éloigne de ſon origine, plus l'étendue du terrein dont les ſources l'alimentent devient conſidérable, & par conſéquent toutes choſes d'ailleurs égales, plus il y aura de ſources qui ſe rendront dans ſon lit.

2°. Au contraire, plus on remontera vers ſon origine, plus cette étendue de terrein diminuera : il en ſera de même du nombre des ſources qui l'alimentent.

Les troubles des rivières indiquent une augmentation dans le volume de leurs eaux.

61. Les rivières, priſes dans leur état ordinaire, ont toujours leurs eaux claires & limpides, puiſque les eaux de ſources ſont conſtamment telles ; ſi les eaux ſe troublent, on doit conclure qu'elles ne ſont pas toutes des eaux des ſources nourricières, & qu'il y en a d'étrangères qui s'y ſont mêlées & y ont tranſporté des matières hétérogènes & terreſtres ; à moins que quelque cauſe particulière, telle, par exemple, que le vent, n'y eût porté du ſable & du limon, des bords ou des environs, ce qui pourroit produire le même effet, ſans aucun mêlange d'eaux étrangères. Par conſéquent, ce cas excepté, on peut conclure que *toutes les fois que les eaux d'une rivière ſont troubles, elles ne ſont plus dans leur état ordinaire, & que leur volume eſt augmenté.*

D'où proviennent les troubles des rivières.

62. Les troubles, dans les rivières, proviennent ordinairement de l'adjonction des eaux pluviales qui, par un orage ou une averſe, s'écoulent ſuperficiellement, ſans filtrer dans la terre. Ces eaux, dans leur cours, ſur le penchant des terreins en pente, ſe chargent de matières terreſtres, qu'elles tiennent en diſſolution & qu'elles tranſportent, par la voie des torrens, dans les rivières, dont elles troublent alors la limpidité. Ce ſont ces eaux qui, comme nous l'avons déjà dit (44 & 51. 3°.), occaſionnent les crues ; ainſi, *les crues ne ſont autre choſe que l'augmentation du volume des eaux d'un torrent ou d'une rivière, produite par les eaux pluviales qui s'écoulent ſuperficiellement & ſans filtration.*

Loi des crues des rivières par une pluie générale.

63. *Si une pluie eſt générale, la crue d'eau ſera d'autant plus forte, & la durée d'autant plus longue, que le pays d'où les eaux viennent ſera plus étendu, toutes choſes d'ailleurs égales.*

1°. Les eaux pluviales qui forment la crue, partent de tous les points de la ſurface qui fournit. Donc en regardant chacun de ces points, comme une ſource extrêmement petite, dont les

eaux ſe rendent au torrent ou à la rivière, il y aura d'autant plus de ſources nourricières, que la ſurface qui fournit ſera plus étendue. Donc (58) plus cette ſurface ſera étendue, plus elle fournira; & par conſéquent plus la crue ſera forte.

2°. La crue n'étant autre choſe que l'écoulement des eaux qui la forment, ſa durée ſe meſurera par celle de cet écoulement. Elle ne finira donc qu'à l'arrivée des eaux pluviales qui ſont tombées vers la ſource du torrent ou de la rivière, & aux points les plus éloignés de celui qu'on prend, ſur la longueur du cours, pour terme de comparaiſon: car il eſt viſible que la pluie finie, ces eaux arriveront les dernières. Or, elles arriveront d'autant plus tard, qu'elles viendront de plus loin, ou que le pays dont il s'agit ſera plus étendu.

Au ſurplus, nous avons ſuppoſé que tout, d'ailleurs, étoit égal, c'eſt-à-dire que le pays étoit uniformément montueux, les montagnes uniformément ardues, uniformément couvertes de bois, &c.; car on ſent bien que toutes ces variétés doivent influer ſur les crues; mais comme la choſe n'a jamais exactement lieu, & que les localités ſont variées à l'infini, il s'en ſuit qu'on ne doit regarder cette démonſtration que comme approximative, & non comme rigoureuſe ni géométrique. Cependant, elle ſuffit pour notre objet; car, dans cette partie, on ne peut atteindre qu'à des à-peu-près, ainſi qu'on doit le ſentir.

Conditions pour le *maximum* des crues.

64. *La crue d'eau, par une pluie générale, ſera la plus forte, dont le torrent ſoit ſuſceptible, lorſque les eaux des points les plus éloignés arriveront au point de comparaiſon pris ſur le cours du torrent ou de la rivière, avant la fin de l'écoulement des eaux des points les plus proches.*

La choſe eſt évidente, puiſque, dans ce cas, les eaux de tous les points de la ſuperficie qui fournit, paſſeront en même-tems au terme de comparaiſon.

65. Il ſuit de-là, que *ſi les eaux les plus éloignées n'arrivent*

qu'après l'entier écoulement des plus proches, la crue ne parviendra pas au MAXIMUM. La choſe arrivera lorſque la pluie ne durera pas aſſez long-tems pour donner aux eaux, les plus éloignées, le tems d'arriver avant la fin de l'écoulement des eaux les plus proches.

66. Par conſéquent, *pour la crue la plus forte poſſible, la pluie doit être d'autant plus longue, que le pays arroſé par la rivière ſera plus étendu.*

67. *La fonte de la neige, par un vent chaud, équivaut à une pluie générale.* La choſe eſt évidente. On peut même ajouter qu'une pareille fonte étant uniforme, doit donner plus d'exactitude & de préciſion à la démonſtration de la propoſition du n. 63.

Les crues ſeront plus fortes dans les pays de montagnes.

68. *Toutes choſes d'ailleurs égales, les crues ſont d'autant plus fortes que les pays ſont plus montueux :* car, la déclivité facilite l'écoulement ſuperficiel des eaux pluviales, & eſt un obſtacle à la filtration à travers la terre. Donc, plus le pays eſt montueux, plus le volume d'eau qui s'écoulera ſuperficiellement ſera conſidérable. Donc auſſi, plus la crue ſera forte.

Elles ſeront moins fortes dans les pays de plaines.

69. Il ſuit de cette propoſition, *que dans les pays de plaines, les crues des rivières ſeront moins fortes que dans les pays de montagnes, toutes choſes d'ailleurs égales;* car par les raiſons inverſes du nombre précédent, le terrein ayant peu de déclivité, l'écoulement ſuperficiel des eaux pluviales y ſera moindre que dans les pays de montagnes.

Elles ſeront d'autant plus fortes, que les montagnes ſeront moins boiſées & plus décharnées.

70. *Toutes choſes d'ailleurs égales, dans les pays montueux, les crues ſeront d'autant plus grandes que les montagnes ſeront moins boiſées & plus décharnées.*

1°. Les arbres & les arbuſtes interceptent par leurs branches & leurs feuilles, les gouttes d'eau qui tombant enſuite par intervalles, ont le tems de filtrer à travers la terre ; par conſéquent, cela ne pouvant pas avoir lieu quand les mon-

tagnes ne ſont pas boiſées, il eſt viſible qu'une grande partie de ces eaux doit alors s'écouler ſuperficiellement, & groſſir d'autant les crues.

2°. Plus une montagne eſt nue & décharnée, moins il y a d'eaux qui filtrent pendant les pluies. Donc les eaux qui s'écoulent ſuperficiellement étant plus abondantes, les crues deviennent plus fortes.

Dans ce cas les crues ſeront plus courtes.

71. Il ſuit de-là, que *dans ce cas, les crues doivent être plus courtes;* car les eaux éprouvant moins de difficultés par la nudité des montagnes, s'écrouleront dans moins de tems.

Dans quel cas la crue n'eſt que partielle.

72. Si la pluie n'eſt pas générale & qu'elle ne tombe que ſur une partie quelconque de la ſuperficie qui alimente le torrent ou la rivière, la crue qui en réſultera ne ſera que partielle. Telle eſt, par exemple, la pluie d'orage : car il eſt inoui qu'un orage dévaſte au-delà d'une certaine étendue.

Conditions pour le *maximum* d'une crue partielle.

73. *La crue réſultante d'une pluie partielle ſera parvenue à ſon* MAXIMUM, *lorſque l'écoulement des eaux les plus éloignées arrivera au terme de comparaiſon avant la fin de l'écoulement des eaux les plus proches;* car, dans ce cas, toutes les parties ſur leſquelles la pluie tombe, fourniront à-la-fois leurs eaux d'écoulement au terme de comparaiſon. Donc ce terme recevra dans ce moment tout ce qu'il peut recevoir.

Les crues d'orage ſont plus fortes que les crues des pluies ordinaires.

74. *Toutes choſes d'ailleurs égales, les crues, par orages, ſont plus fortes que celles par pluies ordinaires;* & cela pour deux raiſons; la première, eſt que les eaux d'orage taſſent la terre, en bouchent les pores, & empêchant par-là la filtration, facilitent l'écoulement ſuperficiel; la ſeconde, eſt que la pluie étant plus forte, produit un plus grand volume d'eau à cet écoulement.

Le volume & la durée de la crue augmenteront en s'éloignant de la ſource.

75. *A partir de l'origine du torrent ou de la rivière, plus on deſcendra, plus la crue augmentera, ainſi que ſa durée.* Cela eſt évident, d'après ce que nous avons dit (63).

76.

76. D'où l'on doit conclure, d'après le même principe, que *la crue diminuera, ainſi que ſa durée, à meſure qu'on remontera vers l'origine du torrent ou de la rivière.*

Au contraire ils diminueront en s'en approchant.

77. Les eaux troubles des crues prennent toujours la couleur du terrein de la contrée d'où elles viennent. Par conſéquent, ſi le pays qui alimente une rivière eſt compoſé de divers quartiers, où les terres diffèrent de couleur, à l'aſpect de la teinte des eaux troubles, on pourra toujours connoître le quartier d'où elles viennent. C'eſt ſur quoi les habitans riverains ne ſe trompent jamais, lors des crues produites par des orages ou par des pluies partielles.

La couleur des troubles fait connoître le pays d'où ils viennent.

78. L'on voit, par tout ce que nous venons de dire, que les élémens qui entrent dans la formation des crues, ſont beaucoup plus multipliés & plus variés que ceux qui ſe rapportent aux ſources; c'eſt-à-dire, à la cauſe qui alimente les rivières dans leur état ordinaire : auſſi ſeroit-il impoſſible, par le moyen de la carte la plus exacte, de juger du volume d'eau dans les crues, comme nous avons dit (59) qu'on pouvoit juger de celui des eaux ordinaires.

79. *L'écoulement des eaux ſuperficielles ne ceſſe pas avec la pluie.* Car ces eaux imbibent plus ou moins les terres de la ſuperficie qui, ſemblables à des éponges, les rendent enſuite peu-à-peu, & par-là font continuer l'écoulement ſuperficiel pendant quelques jours après la pluie. C'eſt un fait que nous avons remarqué conſtamment, & dont tout le monde peut s'aſſurer.

L'écoulement des eaux ſuperficielles ne ceſſe pas avec la pluie.

80. Il arrive de-là, que les crues ne ceſſent pas avec l'écoulement des eaux pendant la pluie. Ces crues continuent avec les écoulemens *ſecondaires* & ſuperficiels (79), & diminuent avec eux. Pendant le tems de la diminution, les eaux ſe clarifient peu-à-peu, juſqu'à ce que le torrent ou la rivière ne reçoive plus que les eaux de ſource.

Conſéquence qui en réſulte.

81. Ainſi la grande crue & les troubles qui l'accompagnent, ne durent que juſqu'à l'arrivée des dernières eaux ſuperficielles

A quelle époque les troubles diminuent.

qui ſont parties des points les plus éloignés, au moment où la pluie ou la fonte des neiges y a ceſſé. Depuis cet inſtant, la crue décroît en s'alimentant d'eaux, pour ainſi dire, à demi-filtrées (79), leſquelles ſe clarifiant peu-à-peu, produiſent une diminution continuelle dans les troubles.

Loi des écoulemens ſecondaires.

82. Toutes choſes d'ailleurs égales, *le volume, & la durée des écoulemens ſecondaires ſeront d'autant plus conſidérables, que la ſurface du pays qui les forme ſera plus étendue.*

En effet, 1°. tous les points de la ſurface qui fournit, devant alors être conſidérés comme tout autant de ſources extrêmement petites (63 1°.), il eſt viſible que le nombre de ces ſources, & par conſéquent, le volume habituel d'eau qu'elles fourniront à la rivière, ſera proportionnel à cette ſurface.

2°. Plus la ſurface du terrein qui fournit ſera étendue, plus les eaux les plus éloignées emploieront de tems pour arriver au terme de comparaiſon.

A quelle époque s'établit l'équilibre entre le fond & l'action des eaux.

83. Pendant tout le tems que la pluie ou l'orage dure, le torrent détache des terres & des pierres, de la montagne où il prend ſa ſource; il charrie pêle-mêle toutes ces matières qui ſont alors dans une eſpèce de liquéfaction. On peut s'en convaincre aiſément par les dépôts que les torrens ne laiſſent que trop ſouvent dans les plaines. On verra que ces dépôts ne ſont qu'un amalgame & un mêlange de pierres & de terre.

Mais lorſque ces matières ſont arrivées au confluent de quelqu'autre torrent dans la plaine, ou qu'en général le volume d'eau eſt aſſez conſidérable pour les noyer, la violence du mouvement diſſout en très-peu de tems la terre qui, ſe mêlant avec l'eau, forme les troubles. Les pierres manquant alors de cette eſpèce de ciment, ſe ſéparent, & ſe répandant ſur le fond du lit, y forment des couches de gravier.

On ſent bien que pendant la durée de la crue principale, ces pierres doivent être en mouvement, tant dans les tor-

rens que dans les rivières, & l'on peut s'en assurer facilement, soit en entrant dans le courant, soit en prêtant attentivement l'oreille. La chose est d'ailleurs naturelle; car la crue n'est qu'un mouvement violent, & une force extraordinaire. Or, toute force extraordinaire rompt l'équilibre préexistant.

Cependant comme tout dans la nature tend à l'équilibre, & comme cet équilibre ne peut se rétablir que par la cessation de la force extraordinaire qui l'avoit détruit, & par une certaine uniformité d'action modérée & d'une certaine durée; comme la crue principale, outre qu'elle n'exerce pas cette uniformité d'action modérée, dure d'ailleurs, en général, assez peu de tems; tandis qu'au contraire, l'écoulement subséquent & secondaire dont nous avons parlé au n. 79, dure pendant quelques jours après la pluie, & qu'enfin, cet écoulement pouvant être assimilé à celui des sources, réunit toutes les conditions d'action modérée & de certaine durée, pour établir l'équilibre; il s'ensuit que ce ne peut-être qu'après la crue principale, & pendant l'écoulement secondaire des eaux pluviales (79), que l'équilibre s'établira entre l'action du courant & la résistance des matières du fond.

Différence entre les torrens & les rivières.

84. C'est ce volume d'eau que nous appellerons *volume d'eau d'équilibre;* il se compose, comme l'on voit, de celui des eaux des sources qui alimentent les rivières dans leur état ordinaire, & de celui des écoulemens secondaires (79) des eaux pluviales; par conséquent, il tient le milieu entre le volume d'eau des crues principales & celui de la rivière, prise dans son état naturel & ordinaire. C'est particulièrement de ce volume & de sa durée que dépend la distinction entre un *torrent* & une *rivière*. En effet, le courant sera véritablement une *rivière* à l'endroit où le volume dont nous venons de parler, & sa durée seront assez considérables pour donner une consistance au fond & se mettre en équilibre avec lui. Si, au contraire, cela n'a pas lieu, ce sera un *torrent*. Or

(60 & 82), plus on s'éloignera de l'origine du courant, plus le volume des eaux augmentera, ainſi que ſa durée; au lieu que plus on s'en approchera, plus ces deux grandeurs diminueront. Donc, *ce ne ſera qu'à une certaine diſtance de la ſource que les torrens deviendront de véritables rivières, dont on pourra connoître les loix.* Il s'agit à préſent de déterminer cette diſtance.

Conditions pour les torrens & pour les rivières.

85. Par la multiplicité des élémens qui entrent dans cette queſtion, on juge bien qu'elle eſt irréſoluble par la théorie. Si l'on conſulte l'expérience, on verra que la propriété dont nous venons de parler (84), & qui différencie le torrent de la rivière, devant produire dans la rivière une pente conſtante, dans un endroit déterminé, & un état ſenſiblement permanent dans le lit, ainſi que nous le verrons plus bas; on verra, diſons-nous, que le torrent ſera préſque toujours *rivière parfaite*, à quelques lieues en aval de ſa ſource. En amont de ce point qui ſert de limite, la rivière ſera *torrent*. Mais comme tout ſe fait par nuances dans la nature, à partir du point de ſéparation, le torrent tiendra d'abord beaucoup de la rivière : enſuite, en remontant, les propriétés communes diminueront toujours de plus en plus, juſqu'à ce qu'on ſoit parvenu aſſez près de la ſource, pour que le torrent ſoit *torrent proprement dit;* c'eſt-à-dire, pour que ſa pente y ſoit irrégulière, & le lit ſujet à pluſieurs révolutions, par la courte durée des crues.

86. On voit, par ce que nous venons de dire (84 & 85), qu'un torrent arrivé dans une vallée peut être remarqué en trois endroits particuliers, ſavoir : 1°. un peu au-deſſous du pied même de la montagne de laquelle il deſcend; 2°. à quelques lieues en aval de cet endroit; & 3°. enfin, dans l'entre-deux. Dans la partie en amont du premier point, le torrent eſt *torrent proprement dit.* Dans la partie en aval du ſecond, le torrent eſt une *rivière proprement dite*; & dans

l'entre-deux, c'eſt un torrent qui tient de la nature de la rivière, & que nous appellerons *torrent-rivière.*

Définition du torrent, de la rivière & du torrent-rivière.

87. *Concluons donc de tout ce que nous venons de dire à ce ſujet;* 1°. *que le torrent eſt une eau qui ne coule en quantité, que pendant les orages ou les groſſes pluies, & toujours avec une grande violence, & dont le lit eſt ſujet à beaucoup de variations & d'irrégularités par la courte durée des crues.*

2°. Que *la rivière eſt une eau qui coule dans tout les tems, & dont le volume, après les crues, eſt aſſez conſidérable, & a aſſez de durée pour donner au lit une pente réglée pour chaque point reſpectivement, & un état ſenſiblement permanent.*

3°. Enfin, que *le torrent-rivière eſt un courant qui tient le milieu entre le torrent & la rivière, & qui, ſuivant les divers endroits de ſon cours, participe plus ou moins aux propriétés de l'un & de l'autre.*

88. Il étoit eſſentiel de définir d'une manière préciſe le torrent & la rivière : car, en conſultant les auteurs hydrauliques, on voit qu'on n'a jamais été d'accord ſur cette définition. En effet, les uns prétendent que ce qui différencie le torrent de la rivière, c'eſt que la rivière doit avoir de l'eau dans tous les tems; au lieu que le torrent ne doit en avoir que lors des pluies & des orages. Mais il y a beaucoup de torrens qui ont auſſi de l'eau dans tous les tems, parce qu'ils reçoivent pluſieurs ſources dans leur lit, ainſi qu'il a été dit (55). D'autres conſidèrent comme torrens, toutes les rivières qui ont beaucoup de pente; dans ce cas il n'y auroit aucune rivière, mais ſeulement des torrens, dans des pays de montagnes. Cependant pluſieurs de ces rivières, telles que la Durance, l'Iſère, la Haute-Loire, l'Allier & la Haute-Garonne, priſes dans le pays des montagnes, ont aſſez d'eau pour être flottables, & l'on ſent qu'il ſeroit abſurde de les confondre avec les torrens, avec leſquels elles n'ont de commun que la grande vîteſſe de leurs eaux; ce qui ne peut pas être une raiſon caractériſtique.

Ainſi nous le répétons, ce qui caractériſe particulièrement la rivière & la différencie du torrent, eſt (84) que la rivière doit avoir, tout le long de ſon cours, un lit d'une pente déterminée & qui, quoique différente pour chaque point, comme nous le verrons plus bas, ſoit pourtant, conſtamment la même au même endroit; au lieu que dans le torrent, cette pente varie continuellement. Or cette propriété dépend eſſentiellement du volume d'eau & de la durée de ſon action, lorſqu'il ſe met en équilibre avec le fond après les crues; & ce ſont ces conditions qui manquent dans les torrens, tandis qu'elles ſe réuniſſent dans les rivières, ainſi que nous l'avons vu (60 & 82).

Définition du volume des eaux dans les divers états des rivières.

89. D'après tout ce que nous avons dit dans ce paragraphe, on voit que le volume d'eau des rivières eſt ſujet à beaucoup de variations ſuivant le tems & les circonſtances. Pour la parfaite intelligence de ce qui ſuit, il faut donc fixer nos idées & nos dénominations ſur ce volume, dans chaque variation.

1°. Nous avons vu (63 & 76) que la grandeur des crues dépend de la généralité ou de la partialité des pluies, de leur intenſité, de leur durée, de l'étendue du pays ſur lequel elles tombent, de ſa déclivité, de la nudité & du décharnement des lieux. En conſéquence, il paroît que nous devons diſtinguer trois claſſes de crues, ſavoir: *la grande crue*, *la crue moyenne* & *la petite crue*.

2°. Nous avons pareillement vu (79 & 80) que l'écoulement des eaux des terres de la ſuperficie, continue la crue après la pluie. Comme d'après ce que nous avons dit (83), ce ſont ces eaux d'écoulement ſecondaire qui fixent l'état du lit après les crues, & rétabliſſent l'équilibre entre l'action du courant & la réſiſtance des matières du fond, & que ce rétabliſſement doit particulièrement s'effectuer par leur volume moyen, nous l'appellerons *volume d'équilibre*, ainſi que nous l'avons déjà dit (84).

3°. L'écoulement des eaux dont les terres ſuperficielles s'étoient imbibées pendant la pluie étant fini, la rivière ne ſera

plus alimentée que par les eaux de ſource. Mais (46) le volume des eaux de ſource augmente par les pluies, & diminue par la ſéchereſſe : donc il en ſera de même du volume des eaux des rivières priſes hors des crues, & dans leur état naturel. Or, ces variations dans les ſources, font diſtinguer leurs eaux en *hautes eaux, baſſes eaux & eaux moyennes* : par conſéquent on doit faire la même diſtinction dans les eaux des rivières priſes dans leur état naturel & ordinaire.

Définition du lit majeur & du lit mineur.

90. Les torrens & les rivières fort rapides, étendent conſidérablement leur lit, lorſque rien ne s'oppoſe à leur action ſur les bords; ſouvent même ce lit eſt ſi large, qu'il arrive rarement que dans les grandes crues il ſoit couvert par les eaux; & encore moins l'eſt-il dans les crues ordinaires; par conſéquent, on doit y diſtinguer deux lits, ſavoir: celui qu'occupent les eaux ordinaires, & celui qu'occupent ou que peuvent occuper les eaux des grandes crues. Ce dernier eſt donc compoſé du premier & de tout le gravier adjacent, ſur lequel les eaux des grandes crues peuvent ſe porter; c'eſt pour cela que nous le nommerons *lit majeur;* au lieu que le premier ſera appellé *lit mineur.* Ces deux lits ſeront les mêmes lorſqu'il n'y aura point de gravier ſuperflu au lit mineur, ainſi que la choſe a lieu lorſqu'une rivière eſt reſſerrée par des digues, ou par des berges quelconques.

Loi fondamentale ſur l'écoulement des eaux.

Fig. 3e.

91. *Suppoſons que l'eau en ſortant par l'orifice BC (fig. 3) du baſſin* ACDE *conſtamment entretenu plein, ſoit reçu dans un canal rectangulaire parfaitement poli dans ſon intérieur, & dont la ſection verticale & longitudicale eſt repréſentée par BCFG. Si ſur la verticale AC, comme axe, nous conſtruiſons une parabole ordinaire AM, dont le ſommet ſoit en A & le paramètre=60 pieds, les ordonnées PM de cette parabole exprimeront la vîteſſe des particules placées ſur leur prolongement HH.*

La choſe eſt démontrée par les principes d'hydraulique. Voyez l'hydrodinamique du C. Boſſut.

Cas où le fond & les côtés du canal ſont raboteux.

92. Si le fond & les côtés du canal ſont raboteux & hériſſés d'inégalités, les particules correſpondantes perdront une grande partie de leur vîteſſe, & elles ne pourront ſe mouvoir avec le reſte de la maſſe, ſans recouvrer, de la part des particules voiſines, une partie de la vîteſſe qu'elles auront perdu. La vîteſſe de celles-ci diminuera donc auſſi, mais moins que celle des premières. Il en ſera de même de la vîteſſe des particules intérieures ſuivantes, c'eſt-à-dire, que cette perte formera une ſérie décroiſſante quelconque. Or, dans la nature il n'y a point de plan parfaitement poli & exempt de frottement. Donc la loi dont nous venons de parler (91) n'exiſte pas dans l'état naturel, ou, pour mieux dire, elle eſt troublée par les obſtacles qui s'oppoſent au mouvement de l'eau.

Cas où la forme du canal s'altèrera par l'action des eaux.

93. Si la force de l'eau qui ſe meut dans un canal, eſt aſſez conſidérable pour qu'elle puiſſe continuellement faire équilibre à la réſiſtance du frottement, la vîteſſe moyenne de la maſſe ſera uniforme, & l'eau aura par-tout la même profondeur. Mais ſi cette force eſt plus grande qu'il ne faut, pour contrebalancer la réſiſtance du frottement, le fluide accélérera ſon mouvement le long du canal. Dans ce dernier cas, ſi les parties qui compoſent le fond & les côtés du canal n'ont qu'un certain degré d'adhéſion entr'elles, elles réſiſteront d'abord à l'action de l'eau, & enſuite elles ſeront entraînées, lorſque, par l'accélération, le fluide aura augmenté ſa force. Alors la figure du canal ceſſera d'être la même qu'auparavant, & elle ſe changera en une autre relative à l'équilibre.

Appliquons tout cela aux Rivières.

Application au cours des rivières, ſuivant la théorie.

Fig. 4e.

94. Soient AB (fig. 4) un plan incliné repréſentant le lit d'une rivière, & CD la ſuperficie des eaux. Prenons la tranche élémentaire verticale & tranſverſale FfgG, & ſur FG conſtruiſons la parabole FEH, dont le paramètre = 60 pieds, en faiſant abſtraction

abſtraction de tout autre mouvement & de toute réſiſtance quelconque, les ordonnées de cette courbe exprimeroient (91) la vîteſſe des particules correſpondantes de cette tranche élémentaire; mais en conſidérant cette tranche comme ſe mouvant parallèlement à elle-même, le long du plan incliné AB, chacune de ces parties acquiert un nouveau degré de vîteſſe particulière par l'accélération. Sur la verticale CP conſtruiſons la même parabole AM; l'ordonnée PM exprimera la vîteſſe que la tranche élémentaire aura acquiſe au point correſpondant G, & cette vîteſſe ſera commune à toutes les particules compriſes ſur la profondeur GF. Par conſéquent, portant MP de G en Q, & conſtruiſant le rectangle GN, dans le cas où aucun obſtacle n'altèrera la loi du mouvement, on aura *la vîteſſe de chaque point de la tranche élémentaire FfgG arrivée en G, qui ſera exprimée par les élémens correſpondans du trapèze mixtilique NFEQ, compoſé du rectangle GN & de l'aire parabolique GFE.*

95. Il ſuit de-là, que toutes choſes d'ailleurs égales, *plus le cours du lit AB ſeroit long, plus la vîteſſe des eaux ſeroit conſidérable;* puiſque, dans ce cas, les élémens du rectangle GN deviendroient toujours plus grands, tandis que la parabole GFE ſeroit conſtante. Conſéquences qui en réſulteroient.

96. Il ſuit encore que *les eaux inférieures auroient plus de vîteſſe que les eaux ſupérieures.* Car il eſt viſible que les élémens inférieurs du trapèze mixtilique NFEQ, ſeront plus grands que les élémens ſupérieurs.

97. Mais dans l'état naturel il s'en faut bien que les choſes ſoient ainſi. En effet: Cette application eſt inadmiſſible dans la pratique.

1°. Le fond du lit des rivières eſt toujours compoſé d'une infinité d'obſtacles & d'inégalités, qui diminuent conſtamment l'effet de l'accélération. A ces obſtacles ſe joignent ſur-tout des gouffres avec contre-pente, que la loi de l'équilibre néceſſite par intervalles, ainſi que nous le verrons plus bas. Ces deux cauſes réunies, détruiſent continuellement par intervalles la

vîteſſe acquiſe, qui, ſans cela, deviendroit prodigieuſe, & convertiroit nos rivières en courans terribles auxquels rien ne pourroit réſiſter.

2°. La vîteſſe des eaux inférieures, même dans les rivières qui réuniſſent une grande pente à un grand volume d'eau, ne ſuit pas, à beaucoup près, la loi des ordonnées à la parabole FEH; car, outre la réſiſtance du fond dont nous venons de parler, & qui (92) ſe fait ſentir de proche en proche juſqu'à la ſuperficie du courant, les ſinuoſités multipliées des rivières, & la réſiſtance des eaux antérieures ou d'aval, qui arrêtent ou retardent les eaux poſtérieures ou d'amont, détruiſent une grande partie de cette vîteſſe.

L'expérience nous prouve inconteſtablement la diminution de la vîteſſe réſultante de la preſſion des eaux ſupérieures ſur les eaux inférieures. Qu'on prenne, par exemple, la Durance dans la partie de ſon cours correſpondante à Orgon : ſa pente y eſt d'environ 14 pouces ſur 100 toiſes de longueur, & dans le tems des baſſes eaux, elle a environ 3 pieds de profondeur aux endroits où les habitans du pays la paſſent à gué. En ne prenant l'ordonnée de la parabole FEH qu'à 2 pieds de profondeur, on trouveroit, à très-peu de choſe près, 11 pieds pour la vîteſſe correſpondante, ou pour l'eſpace parcouru dans une ſeconde; & cela, en faiſant abſtraction de la vîteſſe d'accélération GQ, que nous ſuppoſons nulle. Evaluons, ſous cette vîteſſe, la force d'impulſion ſur un pied carré, en conſidérant le fluide comme indéfini Par le n. 41 de notre traité *ſur la conſtruction la plus avantageuſe des machines hydrauliques*, nous aurons cette impulſion = 141 livres, à très-peu de choſe près; par où il eſt aiſé de juger que dans ce cas l'homme le plus fort ſeroit entraîné par le courant. Donc, puiſque cela n'arrive pas, il ſuit que cette vîteſſe n'eſt pas telle, à beaucoup près.

Un ſecond exemple vient à l'appui de ce que nous diſons. Nous avons été très-ſouvent témoins du refus que faiſoient les

patrons des bacs ſur la Durance, de paſſer cette rivière dans les crues, juſqu'à un certain tems après l'arrivée des eaux dans le Rhône, prétendant qu'alors la vîteſſe du courant étoit conſidérablement moindre; ce qui prouve que le Rhône, par la réſiſtance qu'il oppoſe à la réception de la Durance, détruiſant une partie de la vîteſſe des eaux de cette rivière, cette deſtruction & le retardement qui en eſt la ſuite, ſe communiquent de proche en proche aux eaux affluentes particulièrement, juſqu'à une très-grande diſtance en amont.

Servons-nous enfin d'un autre exemple pour nous convaincre de la réſiſtance des eaux antérieures ſur les eaux poſtérieures ou d'amont. Suppoſons pour cela, que le lit d'une rivière fut coupé, dans ſon cours, par un déverſoir ou par une barre de rocher, qui y produiſît une caſcade de pluſieurs pieds de hauteur, ainſi que la choſe a lieu en un-très grand nombre d'endroits: il eſt certain qu'à l'endroit de la chûte, la loi des ordonnées de la parabole *FEH* n'éprouvant d'autre obſtacle que celui de la gravité des filets ſupérieurs qui, ayant moins de vîteſſe que les inférieurs, pourront un peu gêner leur mouvement, cette loi ne ſera altérée que d'une manière inſenſible. Or, on remarque conſtamment, que dans ces endroits, la profondeur F G eſt beaucoup moindre que dans ceux où, ſous la même largeur, il n'y a point de chûte, quoique le volume d'eau ſoit par-tout le même. Donc, toutes choſes d'ailleurs égales, la ſection du courant étant plus grande aux endroits où il n'y a point de chûte, il faut néceſſairement que la vîteſſe y ſoit moindre, & que cette diminution y ſoit produite par la réſiſtance des eaux antérieures ou d'aval, puiſqu'il n'y a que cette cauſe qui puiſſe la produire.

98. L'on voit, par ce que nous venons de dire, qu'un traité ſur les rivières, uniquement fondé ſur la théorie & qui ne ſeroit pas modifié convenablement par l'expérience, ne donneroit que les loix de rivières idéales & qui non-ſeulement n'ont ja-

mais exiſté, mais même ne peuvent pas exiſter dans la nature. Comme néanmoins cet objet eſt de la plus haute importance pour la ſociété, examinons-le ſous tous ſes rapports, & tâchons de découvrir les vrais principes ſur leſquels nous puiſſions établir la théorie qui lui eſt propre. Pour cela revenons à la figure 4e.

Impoſſibilité de découvrir la loi exacte du mouvement des eaux des torrens & des rivières.

99. En ſuppoſant l'équilibre entre la réſiſtance du fond & l'action des eaux, on peut aſſurer que dans le rectangle GN, GQ étant la vîteſſe acquiſe de toutes les particules compriſes dans GF, ſera nulle pour la particule G qui agit immédiatement ſur le fond. Par conſéquent (92), cette deſtruction de vîteſſe ſe fera ſentir de proche en proche juſqu'à la particule F de la ſuperficie. Mais quelle eſt la loi que ſuivront toutes ces diminutions de vîteſſe? quel ſera l'ordre de la ligne qui l'exprimera? ſera-ce une ligne droite ou une ligne d'un ordre ſupérieur? Dans le cas même où ce ſeroit une ligne droite, quelle ſera ſon équation? On ſent au premier abord, que ſi une pareille découverte n'eſt pas impoſſible, elle eſt du moins très-difficile, & que probablement la choſe ſera encore long-tems inconnue par les variations à l'infini qu'eſſuie la cauſe productrice.

D'un autre côté, la même réſiſtance du fond agit ſur les diverſes vîteſſes exprimées par les ordonnées de la parabole FEH, c'eſt-à-dire que dans la ſuppoſition de l'équilibre, & toutes choſes d'ailleurs égales, GE ſera détruite & que cette deſtruction ſe fera pareillement ſentir (92) de proche en proche juſqu'à la ſuperficie. Mais l'on ſent en même-tems que la loi d'après laquelle cette diminution s'opérera dans les élémens de la parabole FEH eſt auſſi difficile à trouver que pour les élémens du rectangle GN.

Si l'on ajoute à cela la réſiſtance que les tranches élémentaires d'aval oppoſent à celle d'amont (97), réſiſtance qui varie à l'infini ſuivant les localités, on verra ſans peine qu'une décou-

verte pareille eſt impoſſible, & que ce ſeroit perdre ſon tems que de s'en occuper.

Sur cela il faut ſe borner à des approximations.

100. L'on voit par-là qu'il eſt impoſſible d'exprimer exactement par une équation, la loi d'après laquelle les eaux des torrens & des rivières ſe meuvent, même en ſuppoſant que le lit fût parfaitement de niveau & les eaux de même profondeur d'un bord à l'autre: à plus forte raiſon, ſi l'on ſuppoſe qu'il y a des inégalités qui préſentent plus d'obſtacles dans certains endroits que dans d'autres, il faut donc ſe borner à des *à-peu-près*, en ſe conciliant d'ailleurs, autant qu'il ſera poſſible, tant avec les principes généralement reçus, qu'avec les obſervations & l'expérience. En conſéquence nous allons examiner le même ſujet ſous d'autres points de vue.

Moyen de trouver cette approximation.

101. Quelles que ſoient les inégalités du lit d'une rivière priſe d'un bord à l'autre, ainſi que les diverſes vîteſſes qui animent chaque filet, il eſt certain qu'il exiſte une vîteſſe moyenne dont le caractère diſtinctif eſt que, ſi elle étoit la même pour tous les filets, la dépenſe d'eau de la rivière ſeroit la même. La choſe eſt évidente.

Il n'eſt pas moins certain, & l'expérience le prouve amplement, que, toutes choſes d'ailleurs égales, la pente du lit produit toujours ſur les eaux une accélération plus ou moins grande qui affecte à-peu-près également tous les filets, puiſqu'ils ſont cenſés avoir tous la même pente ou à-peu-près.

Par conſéquent, en regardant tous les filets comme animés d'une même vîteſſe égale à la vîteſſe moyenne, on peut ſenſiblement regarder cette vîteſſe comme produite par l'accélération occaſionnée par la pente du lit.

Cela poſé, ſi le lit pouvoit être regardé comme un plan incliné parfaitement uni, & qui n'opposât aucune eſpèce de réſiſtance, ſoit directe, ſoit indirecte, au mouvement de l'eau, il eſt de fait, qu'à chaque point de ce plan incliné, la vîteſſe dont nous parlons ſeroit exprimée par l'ordonnée correſpon-

dante de la parabole dont l'abſciſſe ſeroit la pente & le paramètre = 60 pieds, conformément à la théorie de la chûte des graves. Donc, en ſuppoſant des obſtacles quelconques, puiſque l'effet de ces obſtacles eſt de diminuer proportionnellement l'intenſité de la gravité qui produit l'accélération, la vîteſſe dont il s'agit ſera alors exprimée à tous les points du cours par les ordonnées d'une parabole, dont l'abſciſſe ſera la chûte ou pente correſpondante, & dont le paramètre ſera d'autant moindre que 60 pieds, qu'il ſe trouvera plus d'obſtacles à ſurmonter.

Nommons m, le volume d'eau; v, ſa vîteſſe moyenne; & s ſa ſection, ſuivant la théorie dépouillée de tout obſtacle: v' ſa vîteſſe moyenne, & s' ſa ſection effective par les obſtacles; h ſa pente ſuivant la théorie, & p l'action naturelle de la gravité, ou l'eſpace qu'elle fait parcourir aux graves dans une ſeconde, & qu'on ſait être = 30 pieds, à très-peu de choſe près.

La depenſe de la rivière étant la même au même endroit, on aura $m = sv$, & $m = s'v'$; par conſéquent $sv = s'v'$, & $v' = \frac{sv}{s'}$. Mais par la théorie de la chûte des corps $v = \sqrt{2ph}$. Donc on aura $v' = \frac{s}{s'}\sqrt{2ph}$, & $v'^2 = \frac{s^2}{s'^2}\,2ph$; équation à la parabole dont les ordonnées ſont $= v'$, les abſciſſes $= h$, & le paramètre $= 2p \times \frac{s^2}{s'^2}$.

Or, dans l'état de ſimple théorie, on a la parabole dont l'équation eſt $v^2 = 2ph$, parabole qui ne diffère de celle que nous venons de voir, que par ſon paramètre qui eſt $= \frac{s^2}{s'^2} \times 2ph$.

Donc *la parabole qu'on aura, d'après l'expérience & l'état actuel des choſes, ſera la même que la parabole d'après la théorie, en multipliant ſon paramètre par le quarré du rapport des ſections des courans au même endroit, ſuivant la théorie & ſuivant l'expérience reſpectivement.*

Nous avions déjà démontré cette propriété au n. 24 de notre *Eſſai ſur la conſtruction la plus avantageuſe des machines hydrau-*

liques; mais c'étoit relativement à l'eau qui ſe meut dans des courſiers, & d'après les expériences faites à ce ſujet: nous étions même entrés à cet égard, dans un aſſez grand détail aux n. 13 = 23, que nos lecteurs feront bien de conſulter. On y verra que les expériences doivent être la baſe des opérations ſur la vîteſſe des courans; que celles du C. Boſſut ne peuvent s'appliquer qu'aux courſiers, même avec des modifications, & aucunement aux rivières; & que ſur ce dernier objet les expériences nous manquent totalement: d'où l'on conclura facilement l'inſuffiſance & la circonſcription de l'opération que nous venons de donner.

En effet, pour que cette opération fût générale, il faudroit que le rapport des ſections du courant, ſuivant la théorie & l'expérience reſpectivement, ou $\frac{s}{s'}$ fût conſtant. Or, ce rapport varie continuellement, ainſi qu'on peut le conclure de la proportion $v.v'::s'::s$: car, 1°. les vîteſſes ſont plus ou moins grandes, toutes choſes d'ailleurs égales, ſuivant les maſſes ou volumes d'eau, ainſi qu'on le voit dans la jonction de deux rivières, dont la vîteſſe augmente au-deſſous du confluent aux dépens de la ſection; 2°. elles ſont auſſi plus ou moins grandes ſuivant la pente, & nous verrons que cette pente varie à chaque inſtant dans le lit des rivières.

Ainſi, ſous tous ces divers rapports, cette équation ne pourroit ſervir que dans le cas où tout ſeroit conſtant, le volume d'eau & la pente: ce qui n'a jamais lieu dans la nature. Par conſéquent elle ne peut que nous laiſſer entrevoir les réſultats par approximation. Nous devons donc renoncer au calcul, & nous borner au raiſonnement ſynthétique appuyé ſur l'obſervation. Quant à l'analyſe, elle ne doit être employée que dans l'évaluation des dimenſions des moyens deſtinés à contenir le courant auquel, dans ce cas, on attribuera la vîteſſe relative à la théorie, comme étant la plus grande poſſible.

Comment on doit prendre la ſection d'une rivière.

102. Pour trouver les ſections dont nous venons de parler, & par conſéquent leur rapport, on ſuivra le procédé que nous allons expoſer.

1°. On prendra le profil tranſverſal du lit, par le moyen des ſondes répétées le plus poſſible & dont les diſtances reſpectives ſoient connues ; & l'on aura la ſection effective du courant.

2°. Avec l'inſtrument de Pitot, dont nous donnerons la deſcription plus bas, on prendra pareillement la vîteſſe moyenne des eaux à chaque ſonde. En ajoutant toutes ces vîteſſes moyennes, & en diviſant leur ſomme par le nombre des ſondes, on aura la vîteſſe moyenne effective.

3°. En multipliant la ſection par la vîteſſe moyenne, on aura la maſſe ou volume d'eau qui paſſera par cette ſection dans une ſeconde.

4°. On prendra, avec le niveau, la pente de la rivière, ainſi que nous le dirons dans ſon tems ; & par l'équation $v = \sqrt{2ph}$ ci-deſſus (101), on trouvera la vîteſſe moyenne qu'auroient eu les eaux au même endroit, ſuivant la théorie débarraſſée de tout obſtacle.

5°. Enfin, en diviſant la maſſe ou volume d'eau de la rivière par cette vîteſſe, on aura la ſection qu'eût formé le courant au même endroit, ſuivant la ſimple & pure théorie.

Ce procédé eſt trop ſimple pour avoir beſoin d'explication, & chacun en ſentira facilement les raiſons.

En quel endroit la vîteſſe d'une rivière arrivera à l'uniformité.

103. Suppoſons, à préſent, que par la réſiſtance & la lenteur du mouvement des tranches antérieures (97), l'eſpace parabolique FGHE ſoit anéanti, il eſt viſible qu'il reſtera toujours le rectangle GN, dont les élémens, exprimant les vîteſſes acquiſes par les différentes particules de la tranchée FfgG, en vertu de la chûte ou pente AP, nous font voir que tant que la pente ſera réelle & qu'elle ne s'anéantira pas, l'accélération aura conſtamment

ment lieu. C'eſt auſſi ce que nous prouve (101) l'équation $v' = \frac{s}{r} \times \sqrt{2ph}$: car on y voit que, toutes choſes égales d'ailleurs, la vîteſſe augmentera par l'augmentation de la hauteur du plan incliné.

Or, il eſt démontré qu'un corps qui ſe meut dans un fluide, éprouve, à chaque inſtant, de la part de ce fluide, une réſiſtance proportionnelle à la ſuperficie de la projection de la partie qui choque le fluide, & au quarré de ſa vîteſſe; que ſi ce corps eſt animé d'un mouvement accéléré, cette réſiſtance s'accroiſſant continuellement comme le quarré de la vîteſſe, il y aura un terme où elle ſera aſſez forte pour détruire, à chaque inſtant, l'effet de l'accélération; & par conſéquent, le corps ſe mouvra d'un mouvement uniforme avec la vîteſſe précédemment acquiſe.

Donc, par la même raiſon, lorſque le courant s'approche de la mer, il éprouvera, de ſa part, une réſiſtance qui ſe fait ſentir de proche en proche ſur les tranches affluentes, juſqu'à une certaine diſtance, & qui détruiſant, à chaque inſtant, l'effet de l'accélération, ne permettra plus aux eaux de ſe mouvoir que d'un mouvement uniforme avec la vîteſſe précédemment acquiſe. C'eſt ce qui eſt prouvé par l'expérience de tous les fleuves à meſure qu'ils s'approchent de leur embouchure.

Principe fondamental ſur la force des courans & la réſiſtance qui la contrarie.

104. En général dans tous les courans poſſibles, on doit diſtinguer leur force & la réſiſtance qui la contrarie, la force du courant eſt le produit de la maſſe par ſa vîteſſe réduite, & cette vîteſſe eſt toujours plus ou moins grande ſuivant la pente. Cette même force exerce ſon action ſur le fond & ſur les bords, ſoit tout-à-la-fois, ſoit ſéparément. La réſiſtance du fond peut réſulter, 1°. de la groſſièreté & de la peſanteur ſpécifique des matériaux qui le compoſent. 2°. de la petiteſſe de la pente qui, ſuivant les circonſtances, peut s'anéantir & même ſe changer en contre-pente. 3°. Du degré de tenacité des matières qui compoſent ce fond. Celle des bords dépend, 1°. de leur di-

rection relativement à celle du courant. 2°; de la groſſeur & du poids des matériaux qui les compoſent. 3°; enfin, du degré de tenacité & d'adhéſion à ces mêmes matériaux. Si la force du courant eſt inférieure ou égale à la réſiſtance, tout rentrera dans le même état; mais ſi elle eſt plus grande, il y aura du changement dans le fond & dans les bords, le plus fort devant l'emporter ſur le foible par la deſtruction de l'équilibre; & dans ce cas, le courant ne ceſſera d'agir que lorſque ſa force ſera devenue moindre par la réſiſtance.

Autres principes fondamentaux.

105. Outre ce principe fondamental, il y en a encore trois qui, ainſi que le précédent, ſervent de baſes à la théorie des torrens & rivières, ſavoir:

1°. Un courant quelconque tend toujours à ſuivre la ligne droite ſelon la direction de ſon mouvement.

2°. Un courant tend toujours à s'établir à l'endroit le plus bas, ou dans celui où il y a le plus de pente.

3°. Si un courant trouve divers obſtacles ſur ſon paſſage, il établira ſon cours où il trouvera le moins de réſiſtance.

106. Tous ces principes ſont évidents; il ne nous reſte plus qu'à en faire l'application. C'eſt de quoi nous allons nous occuper, en commençant par les torrens.

SECTION II.

Des Torrens.

§. I.

Des Torrens conſidérés ſur les Montagnes où ils ſe forment.

107. LA condition eſſentiellement requiſe pour la formation d'un torrent, exige deux choſes; ſavoir:

1°. Que *dans une pluie ou une fonte de neiges, l'eau qui arroſe la terre dans un inſtant quelconque ne puiſſe pas être entièrement abſorbée, pendant cet inſtant, par la terre qui la reçoit.*

2°. *Que l'eau ſuperflue & qui ne ſera pas abſorbée par la terre ait la liberté de s'écouler.*

La choſe eſt évidente : car un torrent ne réſulte que des eaux ſuperflues qui s'écoulent ſuperficiellement. Il faut donc qu'il y ait des eaux que la terre refuſe de recevoir & qu'elles aient la liberté de s'écouler.

Conſéquence qui en réſulte.

108. Il ſuit de-là que *le torrent ſe formera d'autant plus aiſément & ſera d'autant plus de progrès que la pluie ou la fonte des neiges ſera plus abondante, que la montagne ſera plus ardue, & que les matières qui la compoſent auront moins de tenacité.*

Car 1°. plus la pluie ou la fonte des neiges ſera grande, plus, toutes choſes d'ailleurs égales, l'eau ſuperflue ſera abondante ; 2°. cette eau s'écoulera d'autant plus aiſément, & acquerra d'autant plus de force, que la montagne ſera plus ardue ; 3°. enfin, cette même cauſe creuſera un lit ſur le penchant de la montagne avec d'autant plus de facilité, que les matières qui compoſeront la montagne ſeront moins tenaces.

En quel endroit le torrent commencera à ſe former.

109. *Si ſur le penchant de la montagne il ſe trouve quelque petit vallon, quelque enfoncement, ou, en général, quelque endroit plus bas que les autres, ce ſera en cet endroit que le torrent commencera à ſe former.*

Car (105 2°.) le courant s'établit toujours à l'endroit le plus bas.

Le fond du torrent s'approchera toujours plus de la verticale.

110. *Le fond du lit d'un torrent qui deſcend d'une montagne, doit toujours s'approcher de plus en plus de la verticale.*

En effet, plus le torrent s'éloignera de ſon origine, plus il aura de force, ſoit à cauſe de l'augmentation de vîteſſe réſultante d'une plus grande chûte, ſoit à cauſe de celle du volume de ſes eaux qui s'accroît continuellement par l'affluence de celles qu'il ne ceſſe de recevoir (63). Or, il eſt impoſſible, à

cauſe de la pente de la montagne, que le lit ſe mette jamais en équilibre avec l'action de l'eau, puiſque la moindre force ſuffiroit pour faire deſcendre les matériaux, à moins qu'ils n'euſſent une très-grande tenacité. Donc le courant étant conſtamment plus fort que la réſiſtance du fond, agira toujours de plus en plus ſur le lit (104), qui ſera par conſéquent d'autant plus creuſé que l'origine ſera plus éloignée, ou que le torrent s'avancera davantage vers la fin de ſa chûte, c'eſt-à-dire, que le fond du lit s'approchera toujours davantage de la verticale.

Cela eſt d'ailleurs confirmé par l'expérience : car on voit toujours que le lit s'enfonce de plus en plus au-deſſous du penchant, à meſure qu'il s'approche du pied de la montagne.

Les bords du torrent ſe taluderont inſenſiblement.

111. *Lorſqu'un torrent creuſe ſon lit ſur le penchant d'une montagne, les bords prennent inſenſiblement un talus plus ou moins conſidérable, ſelon la nature des matières qui compoſent la montagne.*

Car quand même cet effet n'auroit pas lieu immédiatement après la pluie ou la fonte des neiges, & quand la tenacité des matières s'y oppoſeroit, dans la ſuite les petites pluies, le gel & dégel, les influences de l'air, & ſur-tout la tendance des matériaux à deſcendre, leur feront néceſſairement prendre le talus convenable.

Les talus du torrent ſeront ſillonnés par des torrens ſecondaires.

112. *Les bords d'un torrent pris ſur une montagne ſeront bientôt ſillonnés par d'autres torrens.*

Car les bords d'un torrent prenant un talus (111) doivent être conſidérés eux-mêmes comme le penchant d'une montagne dont les eaux ſuperflues, dans une pluie ou une fonte de neige, ſe rendent au torrent, comme à l'endroit le plus bas (105 2°.). D'ailleurs ces mêmes bords ne réſultant que de l'éboulement des terres, doivent avoir, en général, moins de tenacité & ſouvent plus de rapidité que le penchant même de la montagne. Donc (108), ils ſeront bientôt ſillonnés par un

grand nombre de torrens ſecondaires, dont les lits reſpectifs ſuivront les mêmes loix que celui du torrent principal (110).

Nous ajouterons à cela, que ces torrens ſecondaires, en creuſant leur lit, faciliteront l'aggrandiſſement de celui du torrent principal dont les bords n'offriront plus que des pointes iſolées & aiſées à détacher, & par-là même ils augmenteront rapidement la largeur de ce même lit, qui ſe convertira dans la ſuite, en une vallée plus ou moins conſidérable. Tout cela eſt conforme à l'expérience, ainſi qu'on peut aiſément s'en aſſurer, par l'inſpection de quelque montagne fort ardue, où, par l'effet des défrichemens ou d'autre cauſe quelconque, il commence à ſe former des torrens.

113. *L'origine du torrent doit continuellement s'approcher du ſommet de la montagne.*

L'origine du torrent s'approchera continuellement du ſommet de la montagne.

Pour s'en convaincre, il n'y a qu'à faire attention que les parties qui compoſent le penchant d'une montagne ſont ſoutenues par celles qui leur ſont inférieures. Mais celles qui répondent à l'origine du torrent ceſſent d'être ſoutenues : donc elles s'ébouleront par les cauſes mentionnées ci-deſſus (111), ou dans les orages & dans les grandes fontes de neige elles ſeront entraînées avec plus de facilité que les autres, & par conſéquent l'origine du torrent doit continuellement monter.

Cela eſt conforme aux obſervations que nous avons faites en divers endroits ſur les progrès des torrens naiſſans, dont nous avons ſuivi le cours.

114. L'origine du torrent remontant continuellement, parviendra enfin au ſommet de la montagne; mais pour cela, l'excavation du lit ne ceſſera pas alors d'avoir lieu, puiſque les mêmes cauſes ſubſiſtent toujours. On peut même dire que cette excavation s'effectuera toujours plus rapidement, à cauſe que la ſphère du torrent devient toujours plus grande (111 & 112). Ainſi, quand même il ne ſe formeroit pas de torrent dans la partie poſtérieure & correſpondante de la montagne, on ſent

Le torrent peut diviſer une montagne en pluſieurs parties.

qu'après un long eſpace de tems, une montagne peut être partagée en pluſieurs parties par les torrens, ſi rien ne s'y oppoſe; & que s'il y a des rochers dans l'intérieur, il pourra du moins ſe former pluſieurs pointes ſéparées les unes des autres par des vallées plus ou moins profondes, ſelon le tems où les torrens ont commencé, la nature des matières de la montagne, la déclivité de ſon penchant, &c.

Origine des montagnes partielles.

115. Nous n'avons parlé juſqu'ici que des effets que produiſent les torrens ſur une ſeule montagne. Qu'on applique cette théorie aux maſſes primitives des montagnes dont nous avons parlé plus haut (9), & l'on en déduira facilement tous les effets détaillés au n. 54.

Conjectures ſur l'origine des détroits de Conſtantinople, des Dardanelles & de Gibraltar,

116. Ce que nous avons dit juſqu'à préſent nous fournit auſſi le moyen d'expliquer pourquoi certaines montagnes ſont coupées par des rivières. Que dans l'origine une contrée, par l'effet d'un affaiſſement ou par toute autre cauſe, ait été entièrement enfermée par une chaîne de montagnes, les eaux des ſources qui ſortoient de ces montagnes, & qui par leur volume pouvoient former une rivière, ſe ſeront ramaſſées en cet endroit comme le plus bas (105 2°.) & y auront formé un lac: les eaux de ce lac ſe ſeront élevées juſqu'au point le plus bas de la crête des montagnes ambiantes; alors elles ſeront ſorties par cet endroit, & ſe ſeront précipitées le long du penchant extérieur qu'elles auront bientôt ſillonné par une profonde vallée. S'étant ainſi formé, dans cette chaîne, une ſolution de continuité (114), les eaux du lac auront baiſſé progreſſivement & proportionnellement à l'abaiſſement de cette partie de la crête, juſqu'à ce qu'enfin le lac ait diſparu.

C'eſt ainſi qu'ont probablement été formés les détroits de Conſtantinople, des Dardanelles & même celui de Gibraltar. Car, au lieu de ſuppoſer, avec certains auteurs, que, dans l'origine, la méditerranée n'étoit qu'un grand lac dont la ſuperficie étoit inférieure à ſa ſuperficie actuelle, & qu'un effort

violent de l'océan avoit rompu la barrière qui l'arrêtoit à Gibraltar, il eſt bien plus naturel de ſuppoſer que la ſuperficie de ce lac s'élevoit juſqu'au point le plus bas de la crête de la chaîne de Gibraltar, que les eaux des fleuves & des rivières qui s'y rendoient & qui excédoient celles d'évaporation, s'évacuoient par-là dans l'océan, & qu'inſenſiblement, ayant coupé cette chaîne par l'effet de leur chûte, la ſurface de la méditerranée aura baiſſé par degrés juſqu'à ce qu'elle ſoit parvenue au niveau de l'océan.

Tott rapporte dans ſes mémoires, qu'il a trouvé dans la Crimée, des anneaux de fer ſcellés dans le rocher, à une aſſez grande hauteur au-deſſus du niveau de la mer, & qu'ayant demandé à quel uſage ils ſervoient, les Tartares lui répondirent, que c'étoit pour amarrer les vaiſſeaux dans le tems que la mer s'élevoit à cette hauteur. Il ajoute, que les obſervations multipliées qu'il avoit faites dans la même contrée, ſur les dépouilles marines qui s'y rencontrent en divers endroits à une aſſez grande élévation au-deſſus du niveau actuel de la mer, venoient à l'appui de l'aſſertion des Tartares qui ne parloient que d'après la tradition du pays.

Les lacs traverſés par des rivières s'anéantiront tôt ou tard.

117. On doit encore conclure de là, que tous les lacs exiſtans, & qui, ſitués à une certaine hauteur au-deſſus du niveau de la mer, ſont traverſés par des fleuves, diſparoîtront un jour. Tels ſont entr'autres, le lac de Genève, en Europe, traverſé par le Rhône; le lac Ontorio, &c. dans l'Amérique ſeptentrionale, traverſé par le fleuve Saint-Laurent, &c. En effet, le fond de ces lacs s'exhauſſe continuellement par les dépôts de ſable & de limon que ces fleuves charient, tandis que le rocher ſur lequel ces fleuves coulent en ſortant des lacs, s'abaiſſe journellement, quoique inſenſiblement par la corroſion. Or, lorſque de deux points placés à différentes hauteurs, le plus bas s'élève & le plus haut s'abaiſſe continuellement, ils arrivent tôt ou tard à la même ligne de ni-

veau. Par conſéquent, c'eſt ce qui ne peut pas manquer d'arriver dans des tems plus ou moins reculés aux lacs dont nous parlons.

Après cette petite digreſſion, qui néanmoins n'eſt pas tout à fait étrangère au ſujet que nous traitons, nous revenons aux torrens.

Particularités des torrens qui deſcendent des montagnes où il ne reſte plus de terre.

118. Il y a des montagnes que les torrens ont déjà dévaſtées au point qu'il n'y reſte plus que le rocher nud, ſans aucune eſpèce de terre végétale, ni d'arbres ou d'arbuſtes. Dans ce cas, les torrens qui en deſcendent nous offrent quelques particularités que nous allons expoſer.

119. La première de ces particularités eſt, que *les torrens qui deſcendent de ces montagnes ont, toutes choſes d'ailleurs égales, des crues plus fortes & plus courtes que les autres.*

La choſe eſt évidente, d'après ce que nous avons dit aux n. 70 & 71, auxquels nous renvoyons.

120. La ſeconde particularité eſt que, *toutes choſes d'ailleurs égales, ces torrens charieront plus de pierres que les autres.* Car quoique ces montagnes ſoient tout à fait dépouillées de terre & qu'il n'y reſte plus que le rocher, il eſt rare que ce rocher ne ſe fendille & ne ſe décompoſe pas par l'action du ſec & de l'humide, du gel & du dégel, &c. Or, il eſt viſible que dans un orage toutes ces pierres ainſi atténuées, ſeront entraînées par les eaux, & que la partie terreuſe n'y entrera preſque pour rien, puiſque ces montagnes ſont ſuppoſées en manquer.

La nature des tranſports des torrens dépend de celle des terreins des montagnes.

121. En général, les matières charriées par les torrens ſeront, toutes choſes égales, plus ou moins mêlées de terre, ſuivant la qualité du terrein qui couvre les montagnes; c'eſt-à-dire, que ces matières contiendront plus ou moins de terre, ſelon que le terrein des montagnes ſera moins ou plus pierreux.

Le lit d'un torrent ſur le penchant d'une montagne eſt toujours ſinueux.

122. Quoique par le principe du n. 105 1°. *un courant tende toujours à ſuivre la ligne droite, ſelon la direction de ſon mouvement*, cependant la choſe n'arrive jamais aux torrens qui deſcendent

dent des montagnes; au contraire, on remarque que leur lit eſt toujours ſinueux & très-irrégulier; la raiſon en eſt fondée ſur l'inclinaiſon plus ou moins conſidérable des couches de diverſes matières que nous avons dit (45) former l'intérieur des montagnes. En effet, que le courant en creuſant ſon lit, parvienne à une couche de rocher, dont l'inclinaiſon ne ſoit pas exactement dans le ſens de la direction de ſon mouvement, il ſuivra d'abord cette couche, & par conſéquent il s'écartera de ſa direction; mais il ne peut la ſuivre ſans attaquer les bords de ſon lit, qui bientôt le rejetteront pour le porter vers les endroits inférieurs, où il trouvera moins de réſiſtance (105 3°.). Qu'au-deſſous & en aval il rencontre les mêmes obſtacles répétés, il éprouvera les mêmes variations : de ſorte que *le vrai lit d'un torrent ſur le penchant de la montagne où il ſe forme ne peut être que très-ſinueux; ce qui eſt d'ailleurs conforme à l'expérience.*

123. Il réſulte de-là, que *ces ſinuoſités multipliées diminuent conſidérablement la vîteſſe & la force des torrens.* Et c'eſt en cela que nous devons admirer la ſageſſe de la providence; car ſi la choſe n'étoit pas ainſi, aucune barrière ne pourroit modifier ces courans. Pour s'en convaincre, on n'a qu'à ſuppoſer un torrent qui deſcend ſeulement de 200 toiſes ou 1200 pieds de hauteur : s'il ne rencontroit point d'obſtacle, arrivé au bas de la montagne, l'action qu'il exerceroit ſur la ſuperficie d'un pied, équivaudroit au poids d'une colonne d'eau d'un pied carré de baſe, & de 1200 pieds de hauteur, c'eſt-à-dire à 84000 p., ou à 840 quintaux.

Ces ſinuoſités détruiſent la force des torrens.

Examinons à préſent les torrens au pied des montagnes & dans les plaines.

§. II.

Des Torrens considérés au pied des Montagnes où ils se forment.

Deux cas à examiner.

124. Nous avons deux cas à examiner; savoir :

1°. Celui où le penchant de la montagne se propage sans interruption jusqu'au bord de la rivière qui reçoit les eaux du torrent;

2°. Celui où cette continuité de pente ardue du penchant est interrompue par l'interposition d'une plaine entre la rivière & la montagne.

Dans chacun de ces deux cas, les torrens nous offrant des variations particulières, il est à propos de les examiner séparément.

PREMIER CAS.

Il y aura un intervalle entre le bas de la chûte du torrent & la rivière qui le reçoit.

Fig. 5.

125. Nous avons vu (110) que le lit d'un torrent pris sur la montagne où il se forme, s'approche toujours davantage de la perpendiculaire ou verticale à mesure qu'il s'avance vers la fin de sa chûte; soit ABC (*fig.* 5.) la section d'une montagne au bas de laquelle se trouve une rivière CDE. Supposons qu'un torrent prenne sa source vers le sommet B, il creusera son lit suivant la courbe BFG, telle que les tangentes menées à ses divers points s'approcheront toujours plus du parallélisme avec la verticale BH : mais il est visible que cette courbe se trouve d'autant plus enfoncée dans le corps de la montagne, qu'elle s'approche davantage de la ligne du niveau AC qui passe par sa base. D'un autre côté, la rivière n'arrive qu'au point C; donc *il restera un intervalle CG entre la rivière & la courbe BFG, & cet intervalle sera compris dans l'intérieur de la montagne.*

Pente de cet intervalle.

126. La direction du torrent arrivé au bas de la chûte, tend à pousser, suivant KG, les matériaux qu'il a entraînés : mais

ces matériaux ne peuvent s'évacuer que dans la rivière CDE, & pour cela elles ont beſoin d'être pouſſées avec une certaine force. Celle du courant dirigée ſuivant KG, eſt preſqu'entièrement détruite par la réaction de CG : d'ailleurs, il faut une certaine pente au courant pour lui donner la force néceſſaire au tranſport des matériaux, & GC n'en a point. Donc *les matériaux s'accumuleront au bas de la chûte, & le torrent ſe formera juſqu'à la rivière un nouveau lit, ſuivant la ligne KC, dont la pente lui donnera la force relative au tranſport des matériaux dans la rivière ;* ce qui eſt conforme à l'expérience.

La pente d'un torrent diminue au pied de la montagne.

127. On voit par-là que *la pente d'un torrent arrivé au pied de la montagne diminue*, puiſque la ligne CK prolongée, entre dans la courbe BFG du lit en amont.

Cette pente ſera proportionnelle à la groſſièreté des matériaux du fond.

128. *La pente du nouveau lit ſera d'autant plus forte, que la groſſièreté des matériaux ſera plus grande.* Car plus les matériaux ſeront groſſiers, plus il faudra de force au courant pour les charier. Or, la force primitive du courant ayant été preſqu'entièrement détruite par la réaction du ſol au bas de la chûte (126), il ne peut en recouvrer ſuffiſamment que par la pente du nouveau lit : donc, cette force étant relative à la pente, cette pente devra être d'autant plus forte que les matériaux ſeront plus groſſiers.

Loi ſur la longueur du cours de ce lit.

129. *La longueur du nouveau lit KC ſera d'autant plus conſidérable que la montagne aura plus d'empattement, & que les matières qui la formeront auront moins de tenacité.*

Car 1°. ſuppoſons la courbe BFG conſtante ; il eſt viſible que plus la montagne aura d'empattement, ou ce qui eſt la même choſe, moins le penchant BLC aura de pente, plus le point C ſera éloigné du point correſpondant G de la courbe, & par conſéquent plus la ligne CK ſera longue.

2°. Si, au contraire, on ſuppoſe le penchant BLC conſtant, moins les matières intérieures de la montagne auront de tenacité, plus la courbe BFG s'approchera de la verticale BH (110).

Or, il eſt viſible que dans ce cas la ligne CG augmentera à proportion, & qu'il en ſera de même de CK.

Conſéquence qui en réſulte.

130. Il ſuit de-là, que *ſi la montagne eſt rocher, cette longueur ſera preſque nulle.* Car alors la courbe BFG s'éloigne davantage de la perpendiculaire BH, & par conſéquent s'écarte moins du penchant BLC.

Le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue & s'exhauſſera à la fin.

131. *Le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue, & s'exhauſſera à la fin.*

1°. Au commencement de la crue, le volume d'eau & ſa force ſeront conſidérables & pourront corroder le fond. Donc le fond s'abaiſſera.

2°. Les eaux détachant toujours des matières de la montagne, les charieront le long de KC tant que la crue durera; mais à meſure que la crue ceſſera, les eaux n'ayant plus aſſez de force laiſſeront ſur la route les dernières matières enlevées. Donc, alors, le lit s'exhauſſera. Sur cela nous devons faire les obſervations ſuivantes.

1°. Si la crue eſt longue & forte, l'action des eaux ſur le fond ſe fera ſentir à proportion. Dans ce cas, le déblai ſera plus conſidérable que le remblai dont nous parlons; & après la crue, le lit ſera plus bas qu'auparavant.

2°. Si la crue eſt fort courte, le déblai ſera petit à proportion. Dans ce cas, il eſt poſſible que le remblais de la fin ſoit plus grand que le déblai; alors le lit ſera plus haut après la crue qu'auparavant.

Ainſi le lit du torrent ſera très-variable par ces déblais & remblais alternatifs; & c'eſt ce que nous avions avancé au n. 87. 1°.

Venons à préſent à l'examen du ſecond cas.

DEUXIÈME CAS.

Quelle ſera la

132. Soit la montagne ABC' (*fig. 6.*) au bas de laquelle ſe

trouve la plaine C'MC, terminée par la rivière CDE. Soit auſſi un torrent qui, ſe formant au haut B de la montagne, tombe par la courbe quelconque BFK, & qui, du bas de la chûte K, ſe rend à la rivière par la ligne KC, *la pente de cette ligne ſera la même que celle de la partie K C' compriſe entre la courbe de chûte BFK & le penchant BL C' de la montagne.*

pente du lit au bas de la montagne. Fig. 6.

Pour le démontrer, on n'a qu'à ſuppoſer que le penchant BLC' prenne la poſition BL'C. Cette hypothèſe ne peut altérer en aucune manière la courbe BFK, & le bas de la chûte ſera par conſéquent toujours au point K. Or, dans ce cas nous avons vu (128) que la pente du nouveau lit KC ſeroit proportionnelle à la groſſièreté des matériaux : donc la même choſe aura lieu ſi le penchant prend la courbure KLC' & ſe termine en C' au lieu de ſe terminer en C.

133. Donc 1°. *ſi le penchant du terrein correſpondant à C' C eſt ſupérieur à cette ligne, le torrent s'y établira en pleine terre, & creuſera juſqu'à cette même ligne.*

Conſéquences qui en réſultent.

2°. *Si ce penchant coïncide avec cette ligne, le torrent y coulera ſuperficiellement.*

3°. *Si enfin ce penchant eſt inférieur, & qu'il prenne la poſition C'M C, le torrent formera un remblai juſqu'à la rivière.*

Tout cela eſt évident d'après la propoſition précédente.

134. Il ſuit encore de la même propoſition, que *dans ce dernier cas, ſi le torrent n'eſt pas contenu ſur la ligne C' C il ſe répandra ſur les campagnes voiſines & correſpondantes.*

Cas où le torrent ſe répandra ſur les domaines adjacens.

Car (105 2°.) le torrent doit ſe porter vers les endroits les plus bas. Or, par hypothèſe, les campagnes correſpondantes ſont inférieures à la ligne C'C.

Cela, d'ailleurs, n'eſt malheureuſement que trop démontré par l'expérience; car, dans les pays montueux, on voit à chaque pas les domaines les plus précieux, ſe couvrir journellement des dépôts des torrens qui deſcendent des montagnes ſupérieures à ces domaines.

C'eſt-là l'origine des terreins graveleux que nous rencontrons ſouvent au pied des montagnes, où ils forment la continuité des penchans ſupérieurs correſpondans, mais avec une pente beaucoup plus douce. On les reconnoît facilement en ce que la partie pierreuſe y domine ſur la partie terreuſe. Dans pluſieurs départemens du Midi on leur donne le nom de Greſq.

Les dépôts peuvent être utiliſés par le génie civil & par l'agriculture.

135. Ces ſortes de terreins, conſidérés relativement au génie, ont une propriété eſſentielle. Cette propriété conſiſte en ce que les chemins qu'on y place, n'ont beſoin d'aucun apprêt, & qu'ils ne ſe dégradent que très-rarement. La raiſon en eſt que la partie terreuſe forme une eſpèce de ciment qui lie les pierres & donne à l'enſemble plus de conſiſtance que ſi l'on n'employoit que de la pierraille, comme on eſt en uſage de le faire. Par conſéquent la nature nous indique que les engravemens des chemins doivent être faits avec un mêlange de terre & de pierre. Nous pourrons, dans ſon tems, traiter *ex profeſſo* cet important objet.

Ces mêmes terreins, conſidérés relativement à l'agriculture, ont l'avantage d'être très-propres à la culture de la vigne & de l'olivier, lorſque le climat & l'expoſition s'y prêtent. L'expérience, en effet, nous apprend que les vins & les huiles qu'on y recueille ſont toujours d'une qualité ſupérieure.

Revenons à notre ſujet.

Comment on détermine la pente à donner au lit d'un torrent ſur une chauſſée.

136. D'après ce que nous avons dit ci-deſſus, il eſt viſible que, lorſque le terrein C'MC eſt inférieur au prolongement C'C de la ligne KC', ſi l'on veut empêcher le torrent de s'extravaſer dans les domaines adjacens, il faut le contenir ſur une chauſſée ou de toute autre manière, & le conduire juſqu'à la rivière la plus voiſine. Il n'eſt pas moins viſible que la ligne CC' n'eſt point arbitraire, & que ſa pente doit être déterminée ſur celle de KC' (132). Par conſéquent, lorſqu'on aura à conſtruire des ouvrages relatifs à cet objet, on profilera d'abord la ſuperficie KC'MC de l'eſpace compris entre l'extrêmité K de la

chûte du torrent & le bord C de la rivière; & d'après cette opération, on déterminera la poſition de C'C qui doit avoir la même pente que KC', ainſi que nous venons de le dire.

137. Suppoſons qu'on donnât à C'C plus ou moins de pente qu'il ne lui en faut. Dans le premier cas, il y auroit une augmentation de remblais à pure perte, & le torrent dégraderoit les travaux juſqu'à ce qu'il fût parvenu à la ligne C'C (132).

Dans le ſecond cas, le fond s'exhauſſeroit par des dépôts juſqu'à ce qu'il fût parvenu à la ligne C'C; & dans ce tems-là il s'extravaſeroit & ſe répandroit ſur les domaines adjacens (134).

Ainſi, nous le répétons, *la pente C'C n'eſt point arbitraire, mais elle doit être réglée ſur celle de K C'.*

138. Suppoſons que la rivière s'éloigne en prenant la poſition NOP, ou qu'elle s'approche en prenant celle QRS.

La chauſſée du lit augmentera ou diminuera de hauteur proportionnellement à ſa longueur.

Dans le premier cas, le point C tombant ſur N, tirons la ligne NK' parallèle à CK, il eſt viſible que NK' ſera ſupérieure à CK: donc le remblai augmentera en hauteur & en longueur.

Dans le ſecond cas, le point C tombant ſur Q, tirons QK'' parallèle à CK, elle tombera au-deſſous de CK: donc le remblai diminuera en hauteur & en longueur.

139. Il ſuit de-là que *les torrens doivent être conduits aux rivières par la ligne la plus courte.* Car plus la ligne ſera courte, moins les remblais ſeront conſidérables & moins les dépenſes ſeront fortes.

Donc on doit conduire les torrens aux rivières par la voie la plus courte.

140. Si le lit qu'on aſſignera eſt trop large, les eaux, y ayant peu de profondeur, y auront auſſi moins de force pour entraîner les matériaux qui deſcendent de la montagne. D'où il ſuit que les dépôts exhauſſeront le fond, juſqu'à ce que le lit ait aſſez de pente pour donner aux eaux la force néceſſaire au tranſport des matières entraînées.

Si le lit eſt trop large, le fond s'élèvera.

Donc plus le lit ſera étroit, plus la pente ſera petite.

141. Il ſuit de-là, que *la pente du lit d'un torrent devra être d'autant moindre que le torrent ſera plus reſſerré.* Car alors les eaux perdant moins de leur force par les obſtacles répandus ſur le fond, n'auront pas beſoin de réparer leur pente par une augmentation de pente.

Et moins la chauſſée ſera élevée.

142. Donc, ſi le torrent doit être conduit à la rivière voiſine par une chauſſée, *le remblai ſera d'autant moins élevé que le lit ſera plus reſſerré.*

Importance des principes précédens, pour les pays de montagnes.

143. Les principes que nous venons d'établir, quoiqu'encore imparfaits à cauſe de la nouveauté du ſujet, ſont néanmoins de la plus haute importance pour tous les pays de montagnes. On ſait, en effet, que, dans ces pays, les domaines les plus précieux ſont toujours ſitués au fond des vallées & le long des rivières, & qu'ils ſont en même tems dominés par des montagnes, d'où les eaux d'orage deſcendent par la voie des torrens. Si l'on ne veut pas qu'ils ſoient engloutis par les décombres des montagnes, il faut néceſſairement aſſigner un lit à ces torrens; & l'on voit par ce qui précède, que pour opérer à cet égard d'une manière sûre & économique, il faut, en attendant mieux, ſe conformer à ce que nous venons de preſcrire.

§. III.

Des cauſes des Torrens & des effets qui en réſultent.

La première cauſe de la formation des torrens eſt la deſtruction des bois des montagnes.

144. *La deſtruction des bois qui couvroient nos montagnes, eſt la première cauſe de la formation des torrens.*

La raiſon s'en préſente d'elle-même. Ces bois, ſoit taillis, ſoit de haute-futaie, interceptoient, par leur feuillage & par leurs branches, une partie conſidérable des eaux pluviales & de celles d'orage. La partie reſtante & qu'ils ne pouvoient pas retenir, ne

ne tomboit que goutte à goutte, & dans des intervalles aſſez longs pour qu'elle eût le tems de filtrer dans les terres. D'autre part, la couche de terre végétale qui s'accroiſſoit annuellement par la chûte des feuilles, s'imbiboit d'une quantité conſidérable de ces eaux. Enfin les touffes d'arbriſſeaux rompoient & détruiſoient, dès leur origine, les torrens qui pouvoient ſe former nonobſtant toutes ces raiſons. Les bois étant détruits, les eaux d'orage n'ont plus trouvé d'interception dans leur chûte. Ne pouvant pas, à raiſon de leur abondance, être abſorbées par la terre à meſure qu'elles tomboient, elles ont coulé ſuperficiellement, &, n'y ayant plus de touffes qui rompiſſent & diviſaſſent leur cours, elles ont formé les torrens, ainſi qu'il a été dit (107 & 113).

145. *Les défrichemens ſur les montagnes ſont la ſeconde cauſe de la formation des torrens.*

La deuxième cauſe eſt le défrichement des montagnes.

Car nous avons démontré (108) qu'un torrent ſe formeroit avec d'autant plus de facilité, que les matières qui compoſeroient la montagne auroient moins de tenacité. Or, les défrichemens, en rendant les terres meubles, ont diminué cette tenacité : donc ils ont favoriſé la formation des torrens.

L'on voit par-là combien a été mal entendue & peu réfléchie la loi, rendue ſous l'ancien régime, qui autoriſoit les défrichemens, pourvu que l'on conſtruiſît, par intervalles, des murs de ſoutenement, pour arrêter les terres ſur les penchans des montagnes. On n'a pas ſenti que, dans une infinité de contrées, on ſe bornoit à faire deux ou trois récoltes dans un défrichement, & qu'enſuite on l'abandonnoit. Conſéquemment il étoit naturel que les murs de ſoutenement devant plus coûter que ne vaudroient les récoltes, on ne les conſtruiroit pas. Auſſi c'eſt-là ce qui eſt arrivé. Cependant il en eſt réſulté juſqu'à préſent, & il en réſultera pour l'avenir, les déſaſtres les plus affreux, ainſi que nous allons le voir.

Le premier déſaſtre qui en réſulte eſt la ruine de nos forêts.

146. Le premier déſaſtre produit par les deux cauſes dont nous venons de parler, eſt *la ruine de nos forêts.*

S'il avoit exiſté des loix ſages & qu'on eût ſoigneuſement tenu la main à leur exécution, nous aurions aujourd'hui des bois de conſtruction aſſez abondans pour nous paſſer de l'étranger. Nous aurions auſſi en abondance des bois de charpente & de chauffage. On ſent que tous ces objets ſont eſſentiellement néceſſaires dans un état bien organiſé. Cependant ils nous manquent au point que dans un grand nombre de communes on n'a pas même du bois de chauffage. Le mal vient de loin, & il eſt très-inſtant d'y remédier.

Le deuxième déſaſtre eſt la perte des pâturages ſur pluſieurs montagnes.

147. Le ſecond déſaſtre eſt *l'anéantiſſement en une infinité d'endroits de la couche végétale qui couvroit nos montagnes.*

Cette couche donnoit autrefois d'abondans pâturages pour les bêtes à laine. Emportée par les orages & les torrens, il ne reſte plus aujourd'hui ſur ces montagnes qu'un rocher nud & aride. De-là il réſulte néceſſairement une diminution dans le menu bétail qu'on auroit pu nourrir en France, ſi ces pâturages avoient continué d'exiſter.

Le troiſième déſaſtre eſt la ruine des domaines le long des rivières, & de ceux au bas des montagnes.

148. Le troiſième déſaſtre eſt *la ruine des domaines qui ſont le long des rivières.*

Nous avons vu (70) que les crues étoient d'autant plus fortes, que les montagnes étoient moins boiſées & plus décharnées. Ces crues ſont donc plus fortes aujourd'hui par l'effet des deux cauſes mentionnées ci-deſſus, qu'elles ne l'étoient autrefois: donc elles doivent cauſer, & elles cauſent réellement beaucoup plus de dégâts aux domaines riverains qu'elles n'en cauſoient autrefois.

D'autre part, nous avons vu (134) qu'il pouvoit arriver, comme en effet il n'arrive que trop ſouvent, que les torrens ſortant de leur lit, couvriſſent de dépôts les domaines adjacens ſitués au pied des montagnes; ce qui les dénature abſolument.

Or, la choſe n'a lieu que depuis que, par les deux cauſes ci-deſſus (144 & 145), les torrens ſe ſont formés.

149. Le quatrième déſaſtre eſt *le dommage qu'éprouve la navigation des rivières par les diviſions qui ſont la ſuite des fortes crues.*

Le quatrième déſaſtre eſt le préjudice qu'éprouve la navigation des rivières.

Nous verrons plus bas qu'une crue, forte & ſubite, diviſe ſouvent la rivière en pluſieurs branches. En attendant, il nous ſuffit de dire, qu'autrefois cela étoit peu fréquent. Ce qui le prouve, c'eſt qu'en général les rivières étoient priſes pour limites des terroirs des communes; ce qui n'auroit pas été, ſi, dans ces tems-là, ces rivières avoient été ſujettes aux mêmes diviſions qu'aujourd'hui. Or, il eſt viſible que ces diviſions en pluſieurs branches, portent un très-grand préjudice à la navigation & à la flottaiſon des rivières.

150. Le cinquième déſaſtre conſiſte dans *les conteſtations que les diviſions des rivières font naître entre les propriétaires riverains oppoſés.*

Le cinquième déſaſtre conſiſte dans les procès réſultans de la diviſion des rivières en pluſieurs branches.

Car, ſi dans l'origine & à l'époque où la rivière n'avoit qu'un lit, le courant formoit la ligne diviſoire, il eſt viſible que ce courant, venant à changer, par la diviſion en pluſieurs branches, la ligne diviſoire changera auſſi. Sa poſition devenant variable & incertaine, il faut qu'il en réſulte des procès; & c'eſt malheureuſement ce qui n'arrive que trop ſouvent. Cependant la choſe n'auroit pas lieu ſi l'on n'avoit pas détruit les bois & les couches de terre végétale ſur les montagnes.

151. Le ſixième déſaſtre réſulte des *dépôts qui ſe forment à l'embouchure des fleuves, & qui interceptent ſouvent la navigation.*

Le ſixième déſaſtre eſt l'obſtruction de l'embouchure des fleuves.

Car il eſt démontré, par l'expérience, que les atterriſſemens qui ſe forment à l'embouchure des fleuves, gênent extrêmement la navigation. Il eſt auſſi démontré, par l'expérience, que ces atterriſſemens ſe ſont opérés beaucoup plus rapidement, dans ces derniers tems, qu'autrefois. L'exemple du Rhône,

que nous avons rapporté au n. 11, en eſt une preuve convaincante. Or ces dépôts ne peuvent provenir que des dépouilles des montagnes défrichées.

Le ſeptième déſaſtre eſt la diminution des ſources.

152. Enfin le ſeptième déſaſtre conſiſte dans *la diminution des ſources qui alimentent les fleuves & les rivières dans leur état ordinaire.*

Nous avons vu (45), que les ſources provenoient des eaux pluviales qui, filtrant à travers la terre, ſe rendoient dans des réſervoirs ſouterreins, d'où elles s'échappoient enſuite par de petits canaux & paroiſſoient à la ſurface de la terre. Or, ſi les montagnes ſe dépouillent de leur couche de terre végétale, & qu'il n'y reſte plus que le rocher nud, il eſt viſible que les eaux pluviales ne filtreront plus, & qu'elles s'écouleront toutes ſuperficiellement (70) : donc les ſources doivent diminuer, ainſi que les rivières qui les alimentent : il viendra même un tems où les rivières, qui aujourd'hui ſont navigables, ceſſeront de l'être. A la vérité, cette époque eſt encore éloignée ; mais tôt ou tard elle arrivera, ſi l'on ne détruit pas la cauſe qui doit opérer cet effet.

Nous allons à préſent parler des rivières.

SECTION III.

Des Rivières.

Diviſion de cette ſection.

153. Nous diviſerons cette ſection en deux chapitres. Dans le premier, nous examinerons les rivières qui charient du gravier ; & dans le ſecond, nous traiterons de celles qui ne charient que du ſable & du limon.

CHAPITRE I.

Des Rivières à fond de gravier.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des Rivières à fond de gravier.

154. Suppoſons une vallée BCD (*fig.* 7.) formée par les montagnes ABC, CDE, & au fond de laquelle ſe trouve une rivière ; s'il ne s'y rencontre aucune pierre, il eſt viſible que cette rivière occupera conſtamment l'endroit C le plus bas de cette vallée, ſans pouvoir s'étendre ni à droite ni à gauche, puiſqu'elle trouveroit le penchant des montagnes de chaque côté ; & dans ce cas, il ne ſauroit y avoir de différence entre *le lit majeur* & *le lit mineur* (90), à cauſe que le lit ſera un véritable canal terminé de part & d'autre, par le penchant de ces mêmes montagnes. Mais ſi par quelqu'événement que ce ſoit, le fond de la vallée ſe remplit de pierres, il ceſſera d'avoir la forme d'un canal, & prendra la poſition de la droite FG : pour lors la rivière coulera ſur le plan dont cette ligne eſt la coupe tranſverſale ; & ſi ce plan a une certaine largeur FG, telle qu'elle ne puiſſe être entièrement occupée que par les eaux dans les grandes crues (89 1°.) la rivière aura un *lit majeur* & un *lit mineur*. Or, tel eſt l'état de toutes les rivières à fond de gravier, & dans leſquelles on diſtingue les deux lits dont nous venons de parler : donc le fond des vallées que *ces rivières parcourent a été encombré par des dépôts de pierre.*

Le fond des vallées où les rivières ont établi leur lit a été encombré par des pierres. Fig. 7.

Pour s'en convaincre, on n'a qu'à ſonder la profondeur du gravier ſur divers points de FG, on trouvera que cette profon-

deur augmente en avançant vers le point le plus bas C de la vallée, & qu'au contraire elle diminue en s'approchant des bords F & G.

Les domaines riverains de niveau avec le lit, ont été gagnés sur ce lit.

155. *Si le gravier du lit majeur de la rivière n'occupoit que la largeur HK, & que laterralement il ſe trouvât des domaines qui occupaſſent les eſpaces FH, KG placés ſur la même ligne de niveau FG, ou à-peu-près, que HK, on peut être aſſuré que ces domaines ont été gagnés ſur le lit majeur de la rivière.*

Car, ſi cela n'étoit pas ainſi, les lignes FH,KG ſeroient la ſuite des penchans correſpondans BF,DG. Or la continuité des penchans ne ſe forme jamais de lignes horiſontales.

En creuſant dans ces domaines on trouvera le gravier.

156. Il ſuit de-là *qu'en creuſant à quelque profondeur ſur les domaines riverains FH,KG, on trouvera infailliblement le gravier de la rivière.*

Cela eſt évident, puiſque ces domaines ont été gagnés ſur le lit majeur & ſont par conſéquent ſuperpoſés au gravier.

Cette obſervation eſt très-utile dans le cas où l'on conſtruit un chemin à travers ces ſortes de domaines ou aux environs. Dans ce cas, on n'a qu'à ouvrir une tranchée dans ces terreins, & l'on s'y pourvoira de tous les graviers néceſſaires aux engravemens.

Les encombremens qui forment le gravier, tirent leur origine des montagnes adjacentes.

157. Nous avons vu dans la ſection précédente que les penchans des montagnes ſont ſillonnés de torrens; que ces torrens en détachent des maſſes compoſées de terre & de pierre, & qu'ils les jettent dans les rivières voiſines. Ces rivières ayant des crues plus longues que celles des torrens (63), & d'ailleurs étant habituellement alimentées par un certain volume d'eau (56), la partie terreuſe ſera bientôt diſſoute; mais les pierres reſteront & formeront l'encombrement dont nous avons parlé ci-deſſus (154). Donc *les encombremens qui forment le gravier des rivières tirent leur origine des montagnes adjacentes.*

La quantité de gravier que la rivière

158. *La quantité de gravier que les rivières recevront par leurs*

affluens ſera, toutes choſes d'ailleurs égales, proportionnelle à la declivite des pays arroſés par ces affluens.

reçoit, eſt proportionnelle à l'étendue & à la déclivité des pays qui le fournit.

Car, 1°. puiſque les eaux des torrens détachent ces pierres des montagnes, elles en détacheront d'autant plus, qu'elles agiront ſur un plus grand nombre de points, ou que le pays arroſé ſera plus étendu.

2°. Ces pierres ſeront entraînées avec d'autant plus de facilité, que les montagnes ſeront plus ardues.

159. *La groſſeur des pierres que les torrens entraîneront dans les rivières, ſera d'autant plus conſiderable, que les montagnes ſeront plus ardues & plus proches de ces rivières.*

La groſſièreté du gravier eſt proportionnelle à la déclivité & à la proximité des montagnes.

1°. Plus les montagnes ſeront ardues, moins il faudra de force aux eaux des torrens pour détacher de groſſes maſſes de pierres.

2°. Plus ces montagnes ſeront proches des rivières, plus le trajet de tranſport ſera court: conſéquemment, moins les torrens perdront de leur force au bas de la montagne, & plus il leur en reſtera pour charrier ces matériaux.

160. De-là il ſuit 1°. que les *matériaux du lit d'une rivière ſeront plus ou moins groſſiers, ſelon que les montagnes qui la borderont, ſeront plus ou moins eſcarpées.*

Donc le gravier ſera plus ou moins groſſier, ſuivant la hauteur & la penſe des montagnes.

La choſe eſt évidente, & d'ailleurs elle eſt confirmée par l'expérience.

2°. Que *lorſqu'il n'y aura point de montagnes, il n'y aura point de gravier.*

L'exemple de la Saône, de la Seine, de la Marne, &c., juſtifie cette conſéquence.

161. Nous avons vu (45 & 55) que les eaux de ſource ſortoient particulièrement des montagnes, & (51 1°.) qu'elles formoient les rivières dans leur état habituel. Par conſéquent les rivières prennent en général leur origine aux montagnes; mais (9) les montagnes diminuent conſtamment de hauteur en s'éloignant du point culminant du grouppe. D'autre part, la déclivité ou

La groſſièreté du gravier augmente ou diminue en s'approchant ou en s'éloignant de la ſource de la rivière.

la rapidité de leur penchant diminue auſſi à proportion de la hauteur. Donc, d'après ce que nous venons de dire (159), la groſſièreté des matières du fond d'une rivière augmentera en remontant vers la ſource, & elle diminuera en s'en éloignant.

La choſe eſt conforme aux obſervations, ainſi que chacun peut s'en convaincre.

Si les montagnes riveraines s'abaiſſent ou s'éloignent, la largeur du gravier augmentera. Fig. 7.

162. *Si les montagnes formant la vallée s'éloignent ou s'abaiſſent, la longueur FG (fig. 7) de la ligne tranſverſale du gravier augmentera.*

Car, 1°. les montagnes s'éloignant, leurs penchans CGD, CFB s'écarteront l'un de l'autre: par conſéquent leur diſtance priſe ſur la ligne FG augmentera.

2°. Pareillement, ſi les montagnes ABC, CDE s'abaiſſent & ſi elles deviennent AB'C, CD'E, il eſt viſible que la ligne FG deviendra F'G' plus longue que la première.

Ainſi, dans le premier cas, les montagnes s'éloignant, & leur déclivité étant ſuppoſée conſtante, le ſommet de l'angle formé par la rencontre de leurs penchans, tombera au-deſſous du point C, tandis que la ligne FG ne change pas de poſition. Or le ſommet de l'angle s'éloignant, FG qui joint ſes côtés doit augmenter.

Dans le ſecond cas, au contraire, les ſommets des montagnes baiſſant, leur rapidité diminue; &, par conſéquent, l'angle formé au point C par le concours de leurs penchans, augmentera. Donc la ligne FG, qui ne varie pas dans ſa poſition & qui meſure la diſtance des côtés de cet angle, augmentera auſſi.

Si les montagnes riveraines ſe rapprochent ou s'élèvent, la largeur du gravier diminuera. Fig 7.

163. *Si les montagnes qui forment la vallée ſe rapprochent ou s'élèvent, la longueur FG de la ligne tranſverſale diminuera.*

En effet, 1°. ſi elles s'approchent, leurs penchans CGD, CFB ſe rapprocheront auſſi; &, par conſéquent, la ligne FG, qui meſure leur diſtance ſuivant cette direction, diminuera.

2°. Si elles s'élèvent, & qu'elles deviennent AB"C, ED"C, leur

leur rapidité augmentera, leurs penchans ſe rapprocheront, & leur diſtance ſuivant la ligne FG, deviendra F"G", qui ſera évidemment moindre que FG.

La largeur des terreins à gagner eſt relative à la diſtance de la ſource.

164. Puiſque la hauteur des montagnes augmente en s'approchant de la ſource d'une rivière, & qu'elle diminue en s'en éloignant, il ſuit, de ce que nous venons de dire (162 & 163), qu'*il y aura plus ou moins de terrein à gagner ſur le gravier du lit des rivières, ſelon qu'on s'éloignera ou qu'on s'approchera de leur origine.*

Conſidérations ſur le gravier & les galets; uſage qu'on en peut faire pour diſtinguer la rivière du torrent-rivière.

165. Les pierres qui tombent dans le lit des rivières ſont d'abord d'une forme anguleuſe & irrégulière, comme on peut le voir dans les torrens pris au bas des montagnes où ils ſe forment; l'action des eaux des rivières dans les crues, les oblige à rouler & à ſe choquer les unes les autres. Dans ce mouvement de rotation, & par ces divers chocs, les angles s'écornent, les ſurfaces ſe poliſſent, & leur forme devient régulière, ou à-peu-près. C'eſt lorſqu'elles ſont parvenues à cet état, qu'elles prennent le nom de *galets*. Mais pour y parvenir, elles ont beſoin de rouler ſur une certaine étendue, & par l'action des crues d'une certaine longueur. Avant ce terme, elles ſont plus ou moins écornées, & s'approchent plus ou moins de la régularité des *galets*, ſuivant l'eſpace parcouru, & c'eſt ſur-tout dans le lit des torrens-rivières qu'on les trouve dans cet état d'imperfection : auſſi eſt-ce-là le vrai moyen de diſtinguer au premier abord, & en tout tems, le torrent-rivière de la rivière proprement dite.

Comme les pierres qui deſcendent des montagnes ſont de diverſes groſſeurs, cette diverſité continue dans le lit des rivières. Ainſi, le gravier n'eſt qu'un mêlange de pierres de toute groſſeur, depuis un volume déterminé & au-deſſous; & ſa groſſièreté, en général, conſiſte dans le plus ou moins de groſſeur des galets qui y dominent.

Origine des dépôts de gravier supérieurs au lit des rivières.

166. Nous avons dit (5) qu'en divers endroits, & à une certaine hauteur on trouve des amas considérables de cailloux roulés ou *galets*. Nous ajouterons ici qu'on rencontre aussi fort souvent, dans les endroits élevés, du gravier dont les pierres ne sont encore qu'imparfaitement arrondies. Par conséquent, en examinant les rivières ou torrens-rivières qui sont dans la contrée, on pourra, d'après ce que nous avons dit (165), déterminer par quel courant ces dépôts ont été formés.

Pourquoi le lit des rivières s'abaisse, malgré les graviers affluens.

167. Les torrens transportant continuellement des pierres dans le lit des rivières, & ces pierres ne parvenant pas jusqu'à la mer, ainsi que nous le verrons plus bas, il semble que ce lit devroit habituellement s'exhausser. Cependant il arrive le contraire, comme nous l'avons dit (5 & 166). Deux causes empêchent les progrès de cet exhaussement.

La première est le frottement continuel des galets, les uns contre les autres, dans les crues; frottement qui les use & en atténue habituellement les parties. La chose paroîtra peu surprenante, si l'on observe qu'il est bien difficile qu'une des plus grosses pierres qu'on trouve dans le gravier du lit des rivières puisse, par l'effet d'un mouvement violent, tel qu'est celui du tems des crues, rouler seulement l'espace de 10 lieues sans s'anéantir entièrement.

La seconde est l'abaissement habituel du niveau de la mer dont nous avons parlé aux n. 4 & 5, & qui, comme on verra dans la suite, influe nécessairement sur l'abaissement du lit des rivières dans toute l'étendue de leur cours.

Ainsi, par le concours de ces deux causes, *non seulement le lit des rivières ne doit pas s'élever, mais au contraire il doit continuellement s'abaisser; & c'est ce qui est confirmé par l'expérience.*

168. Après avoir expliqué tout ce qui tient à la formation & à la nature du lit des rivières, il nous reste à voir l'action des eaux sur les matières qui le composent & les variations qui en

réſultent dans toutes les hypothèſes. Pour cela il faut préalablement fixer nos idées ſur la force des eaux, la réſiſtance des matériaux du fond & l'équilibre qui s'établit entre cette force & cette réſiſtance.

La force d'équilibre des courans eſt exprimée par le volume d'équilibre multiplié par la vîteſſe moyenne.

169. Nous avons dit (48) que, dans les crues, toutes les matières du fond étoient en mouvement, & (85) que ces mêmes matières ne ſe mettoient en équilibre, avec l'action du courant, que pendant l'écoulement ſecondaire des eaux pluviales auxquelles nous avons donné le nom de *volume d'eau d'équilibre*. D'après la définition donnée au n. 89 2°., ce volume eſt le volume moyen des eaux d'écoulement ſecondaire qui ſuccèdent à la crue. L'action de ce volume ou ſa force ſe meſure, ainſi que la force de tous les corps, par le produit de la maſſe, par la vîteſſe qui l'anime. Or nous avons vu (100) l'impoſſibilité de fixer la loi du mouvement des eaux des torrens & des rivières, & (101) que la vîteſſe moyenne rempliſſoit le même objet : ce ſera donc la vîteſſe moyenne que nous adopterons pour la vîteſſe commune à toutes les particules de la maſſe. Quant à cette maſſe, elle eſt le volume qui, dans une ſeconde, que nous prenons pour unité de tems, paſſe par la ſection du lit à l'endroit ſur lequel nous raiſonnerons, & ce volume doit être regardé comme évalué en pieds cubes, à cauſe que nous prenons le pied pour unité. En conſéquence, la *force d'équilibre du courant ſera exprimée par le volume d'eau d'équilibre multiplié par la vîteſſe moyenne.*

Au ſurplus, nous ne devons pas nous diſſimuler que cette force n'agit en entier que ſur les grands obſtacles qui ſe rencontrent ſur ſa route, tels que les digues, les bords du lit quand ils ſe préſentent obliquement à la direction du courant, &c. ; au lieu qu'il n'y a que les couches inférieures qui agiſſent ſur les matériaux qui forment les inégalités du fond. Cependant, comme ces couches ſupportent le poids de toutes les couches ſupérieures, n'étant d'ailleurs queſtion ici que de fixer des

rapports d'approximation, & de les vérifier conſtamment par l'expérience, nous croyons pouvoir, ſans crainte d'erreur ſenſible, prendre l'expreſſion de la force que nous venons de fixer, pour celle qui agit ſur les matières du fond & à laquelle elle doit être ſenſiblement proportionnelle, la vîteſſe étant ſuppoſée la même pour tous les filets.

Cette force eſt auſſi repréſentée par le même volume multiplié par une fonction quelconque de la pente.

170. Par la théorie de la chûte des corps, ſoit libre, ſoit ſur des plans inclinés, la vîteſſe acquiſe eſt exprimée par l'ordonnée d'une parabole dont le paramètre = 60 pieds & l'abciſſe eſt la hauteur due. D'où il ſuit que, dans la théorie, les vîteſſes ſont comme les racines quarrées des hauteurs. Dans les rivières, l'eau coule à la vérité ſur un plan incliné; mais nous avons vu (101) qu'on ne pouvoit pas, à la rigueur, lui appliquer ce rapport de la vîteſſe à la hauteur. Tout ce que nous pouvons dire, c'eſt que la hauteur du plan incliné, ou la pente de la rivière augmentant ou diminuant, la vîteſſe augmentera ou diminuera auſſi d'après une fonction quelconque de cette pente, mais dont la détermination, aſſez inutile d'ailleurs pour l'objet que nous propoſons, ſera probablement encore long-tems inconnue par la multiplicité & les variations à l'infini des élémens qui y entrent. En conſéquence, ne deſirant & ne pouvant aujourd'hui obtenir que des rapports approximatifs, nous pourrons auſſi repréſenter la force du courant qui agit ſur le fond ou *la force d'équilibre, par le volume d'eau d'équilibre, multiplié par une fonction quelconque de la pente.*

La réſiſtance des matières du fond eſt proportionnelle à leur groſſièreté.

Fig. 8.

171. Soit AB (fig. 8.) un plan incliné faiſant partie d'une portion du lit d'une rivière. Soit auſſi, ſur ce plan, le corps D repréſentant une pierre iſolée, poſée parmi celles qui compoſent le fond. Cette pierre, étant entièrement plongée dans l'eau, perdra autant de ſon poids que pèſe le volume d'eau dont elle occupe la place. Repréſentons le reſte de ſon poids par la verticale EF, & abaiſſons la perpendiculaire EG. Cette dernière ligne exprimera ſa preſſion ſur le plan & ſera proportion-

nelle à l'énergie avec laquelle elle réſiſtera à l'action du courant. Mais on a EF:EG::AB:BC. Donc, puiſqu'à cauſe de la petiteſſe de AC on peut, ſans erreur ſenſible, ſuppoſer BC=AB, on pourra auſſi, par la même raiſon, ſuppoſer EG=EF; par conſéquent la réſiſtance, que ce corps oppoſera, ſera proportionnelle à ſon poids relatif; &, puiſque le poids relatif eſt proportionnel au poids abſolu, & celui-ci au volume ou à la groſſeur des matières, *la réſiſtance de ce corps ſera auſſi en proportion avec ſon volume ou ſa groſſeur.*

Juſqu'ici nous n'avons conſidéré qu'un corps iſolé, placé ſur le fond du lit d'une rivière; mais dans la nature, les choſes ne ſont pas ainſi : les pierres couvrent le fond en entier : elles ſont placées les unes à la ſuite des autres; & quoique diſpoſées au haſard & en déſordre, cependant elles ſe ſoutiennent mutuellement juſqu'à un certain point. Par cette irrégularité de diſpoſition reſpective, il ſeroit difficile, pour ne pas dire impoſſible, de fixer au juſte le rapport de la réſultante des réſiſtances. Mais on ſent, qu'en général, dans ce cas, *cette réſiſtance doit à-peu-près être encore proportionnelle à la groſſièreté des matières;* car il eſt viſible que plus ces matériaux ſeront volumineux, plus ils réſiſteront.

172. *Pour que le lit d'une rivière prenne une conſiſtance, il faut que les matières du fond ſe mettent en équilibre avec l'action des eaux.*

Les matières du fond doivent ſe mettre en équilibre avec l'action des eaux.

Car ſi cet équilibre n'avoit pas lieu, les matières du fond ſeroient dans un mouvement continuel, & le lit ne prendroit aucune conſiſtance fixe; ce qui eſt contraire aux loix de la nature & à l'expérience.

173. Donc, puiſque l'action ou la force des eaux eſt (169) comme le produit de la maſſe par la vîteſſe, ou (170) comme le produit de cette maſſe par une fonction de la pente, & que (171) la réſiſtance des matières du fond eſt comme leur groſſièreté, toutes ces quantités ſeront en proportion.

Conſéquence qui en réſulte.

C'eſt de-là que nous allons déduire les propoſitions ſuivantes.

La groſſièreté des matières du fond augmente avec la force de la rivière.

174. *Plus la force de la rivière ſera conſidérable, plus les matières du fond ſeront groſſières.* Car, ſi la force de la rivière augmente, la réſiſtance des matières qui, par leur poids, doivent lui faire équilibre, augmentera auſſi. Or (171), cette réſiſtance eſt proportionnelle à la groſſeur des matières : donc la force de la rivière ſera proportionnelle à la groſſièreté de ces mêmes matières.

Et réciproquement.

175. Il s'en ſuit de-là, que réciproquement *plus les matières ſeront groſſières, plus le courant pris dans l'état d'équilibre aura de force.*

La choſe eſt évidente, puiſqu'une plus grande réſiſtance doit faire équilibre à une plus grande force.

On ſent que l'inverſe de l'une & l'autre propoſition a également lieu.

Ces deux propoſitions ſont confirmées par l'expérience ; car par-tout où les rivières ont plus de force, les matières du gravier y ſont plus groſſières, & réciproquement.

Le volume d'eau étant conſtant, la pente augmentera ou diminuera avec la groſſièreté des matières du fond.

176. *Si le volume d'eau eſt conſtant ſur tout le cours du courant, la pente augmentera ou diminuera avec l'augmentation ou la diminution de la groſſièreté des matières du fond.*

En effet, 1°. ſi la groſſièreté des matières augmente, leur énergie ou réſiſtance augmentera (171). Donc, dans le cas d'équilibre la force du courant doit augmenter (175) ; mais cette force eſt le produit de la maſſe par la vîteſſe (169). La maſſe étant conſtante par hypothèſe, la vîteſſe doit donc s'accroître. Or (170), cette vîteſſe ne peut s'accroître qu'à meſure que la pente augmentera : donc cette pente augmentera avec la groſſièreté des matières du fond.

2°. Par les mêmes raiſons, ſi cette groſſièreté diminue, la réſiſtance diminuera. Il en ſera de même de la force & de la vîteſſe du courant ; par conſéquent la pente diminuera auſſi.

177. *Si la groſſièreté des matières eſt uniforme ſur toute la longueur du lit, la pente augmentera ou diminuera lorſque le volume d'eau diminuera ou augmentera reſpectivement.*

La groſſièreté des matières du fond étant conſtante, la pente ſuivra la raiſon inverſe du volume d'eau.

Car 1°. le volume d'eau diminuant, & la réſiſtance étant conſtante par l'uniformité des matières du fond, la force devant auſſi être conſtante, la vîteſſe augmentera. Or, elle ne peut s'accroître qu'avec la pente (170).

2°. Au contraire, le volume d'eau augmentant & la réſiſtance étant ſuppoſée conſtante, la force qui pour lors doit auſſi être conſtante, exige que la vîteſſe diminue : donc, dans ce cas, la pente diminuera auſſi (170).

178. Nous avons vu (161) que la groſſièreté des matières du fond augmente en remontant vers la ſource d'une rivière, & qu'elle diminue en s'en éloignant ou en deſcéndant : d'autre part, nous avons pareillement vu (60) que le volume d'eau d'une rivière augmente ou diminue en s'éloignant ou en s'approchant de ſa ſource. Donc, d'après les deux propoſitions ci-deſſus (176 & 177), la pente du lit d'une rivière augmentera continuellement en remontant vers ſa ſource, & elle diminuera de même en deſcendant. Par conſéquent, *ce lit ne formera pas une ſeule ligne droite, mais une ſuite de plans dont l'inclinaiſon variera à chaque pas, & qui ſeront les élémens d'une courbe dont le point générateur s'élèvera continuellement en avançant vers la ſource de la rivière*; ce qui eſt parfaitement conforme aux obſervations.

Le fond du lit formera une courbe qui s'élèvera en avançant vers la ſource.

179. Si l'on examine la nature de cette courbe, on voit qu'elle doit être de la claſſe des courbes aſſymptotiques; car, menons l'horiſontale AB (fig. 9) dans laquelle le point A ſoit du côté d'aval & la pointe B du côté d'amont, & élevons les perpendiculaires PM, P'M', P"M" &c., elles ſeront (178) les ordonnées de cette courbe qui touchera l'axe des abciſſes AB lorſque PM ou la pente ſera = o. Or pour que, toutes choſes d'ailleurs égales, la pente s'anéantiſſe, il faut que la réſiſtance

La courbe du lit ſera aſſymptotique.

du fond ſoit nulle, ou que le volume d'eau ſoit infini. En effet la pente s'anéantiſſant, la vîteſſe qu'elle imprime à la maſſe s'anéantit auſſi, ou, ſi l'on veut, devient infiniment petite; donc il faut que la réſiſtance du fond devienne nulle, ou, ſi elle eſt finie, il faut que la maſſe d'eau devienne infinie. Or la réſiſtance du fond ne ſera jamais $=0$, ni la maſſe ou le volume d'eau $=\infty$; donc PM aura toujours une valeur, & par conſéquent *la courbe MM'M" ſera aſſymptotique, puiſqu'elle ne pourra toucher l'axe AB des abciſſes qu'à l'infini.*

Le volume d'eau étant conſtant, la groſſièreté des matières du fond augmentera avec la pente.

180. *Si la pente d'une rivière augmente & que le volume de ſes eaux ſoit conſtant, la groſſièreté des matieres du fond augmentera auſſi.*

La raiſon s'en préſente d'elle-même. La pente augmentant, la vîteſſe & la force de la rivière augmenteront auſſi (170); donc, pour l'équilibre, la réſiſtance du fond doit augmenter: mais cette réſiſtance ne peut s'accroître que par l'augmentation de la groſſièreté des matières (171).

Application de ce principe au redreſſement du lit des rivières.

181. Suppoſons qu'on redreſſe le lit ſinueux d'une rivière, en abrégeant ſon cours, on augmentera ſa pente en cet endroit. Donc, par la propoſition précédente, la groſſièreté des matières du fond augmentera pareillement de proche en proche juſqu'à la diſtance où, par l'effet de l'augmentation de réſiſtance qui en réſultera, ou de celle mentionnée au n. 103, le courant ſe ſera mis de nouveau en équilibre avec les matières primitives.

L'obſervation ſuivante confirmera cette aſſertion. Frizi rapporte qu'en abrégeant le cours de l'Arno de quatre milles, cette rivière a pouſſé du gravier juſqu'à trois milles au-delà du point où elle ceſſoit d'en charier auparavant: d'où l'on doit conclure *qu'en opérant des redreſſemens dans les rivières, on portera, en général, la groſſièreté des matériaux qui ſe trouvent à un endroit déterminé, à une diſtance plus avancée en aval d'environ les trois quarts de la longueur du racourciſſement du cours de ces rivières.*

182.

182. Puiſqu'un redreſſement de lit augmente la pente, & que (105 2°.) les courans tendent toujours à s'établir aux endroits où cette pente eſt plus forte; il s'en ſuit que ſi une rivière rencontre ſur ſon cours un endroit pareil, elle s'y précipitera d'elle-même. C'eſt pour cette raiſon, qu'en 1711, le Rhône, près de ſon embouchure, abandonna ſon ancien lit, connu ſous le nom du *canal de bras de fer*, pour ſe jetter dans celui des Lônes qu'il occupe encore aujourd'hui. Par conſéquent quand on a de pareils redreſſemens ou racourciſſemens à faire, lorſqu'il n'y a pas de rocher ni d'autres matières qui ayent trop de tenacité, il ſuffit, le plus ſouvent, d'ouvrir une ſimple tranchée de peu de largeur, & de laiſſer, au courant qui s'y précipitera de lui-même, le ſoin de s'aggrandir convenablement par la corroſion qu'il ne manquera pas d'exercer ſur les bords; ce qui facilitera infiniment ces ſortes d'opérations & en diminuera conſidérablement les dépenſes.

Moyen de ſimplifier les frais de redreſſement du lit des rivières.

183. *Le volume d'eau d'une rivière étant toujours ſuppoſé conſtant, ſi l'on en diminue la pente, la groſſièreté des matières du fond diminuera auſſi.*

Le volume d'eau étant conſtant, la groſſièreté des matières du fond diminuera avec la pente.

Car la pente diminuant, la vîteſſe diminuera auſſi (170), de même que la force (169). Donc cette force ne pourra plus faire équilibre qu'à une réſiſtance moindre qu'auparavant: or, cette réſiſtance (171) eſt comme la groſſièreté des matières du fond: donc cette groſſièreté diminuera.

184. Cette propoſition s'applique naturellement aux déverſoirs dont on ſe ſert pour barrer le lit des rivières. Ces ſortes d'ouvrages, en détruiſant la pente de la rivière, détruiſent auſſi ſa vîteſſe & ſa force: le courant n'a donc plus aſſez d'énergie pour charier du gravier; & les eaux ne s'écoulant que par l'effet de la preſſion verticale, la groſſièreté des matières du fond s'anéantit juſqu'à une certaine diſtance en amont du déverſoir: c'eſt ce que l'expérience démontre.

Application de ce principe aux déverſoirs.

Un déverſoir oblige le lit de s'exhauſſer en amont.
Fig. 10.

185. *Si l'on barre une rivière par un déverſoir, ſon lit s'exhauſſera en amont de ce déverſoir.*

Soient AB (*fig.* 10.) une portion du lit ſur laquelle on a conſtruit le déverſoir CDEF. Du ſommet de ce déverſoir menons l'horiſontale CG qui rencontre AB en G. Le courant arrivé en G ſera obligé de ſe mouvoir de G en C, en vertu de ſa vîteſſe acquiſe. Mais, d'une part, pour peu de hauteur qu'ait le déverſoir, cette vîteſſe eſt bientôt détruite par la réſiſtance qu'oppoſe la maſſe ſtagnante CFG, que le courant choque ſuivant ſa direction AG (105 1°.); & de l'autre, ce rallentiſſement retardant les eaux antérieures, ſe fait ſentir de proche en proche, aux eaux poſtérieures ou du côté d'amont, juſqu'à une certaine diſtance d'autant plus grande que la pente eſt plus petite. Donc les eaux affluentes en amont de G ayant moins de vîteſſe & conſéquemment moins de force qu'auparavant, n'auront plus aſſez d'intenſité pour charier les matières que les torrens ſupérieurs ne ceſſent de tranſporter dans ſon lit. Donc le lit s'exhauſſera en amont du déverſoir.

La même propoſition peut être démontrée d'une manière encore plus ſimple. La deſtruction de la vîteſſe retient (184) toutes les matières groſſières en amont du déverſoir. Or les torrens qui affluent en amont ne ceſſent d'en charier; donc ces matières, ne paſſant plus au-delà du déverſoir, s'accumuleront en amont, & par conſéquent elles y exhauſſeront le lit.

Cette vérité eſt démontrée par l'expérience: par-tout où l'on barre une rivière pour procurer de l'eau ou des chûtes à des moulins ou à d'autres engins, on remarque conſtamment cet exhauſſement.

La groſſièreté des matières du fond ſera à ſon *minimum* près du déverſoir.

186. La deſtruction de la vîteſſe & de la force du courant eſt à ſon *maximum* près du déverſoir: mais comme elle n'eſt produite que par la réaction des eaux ſtagnantes CFG, cette deſtruction diminuant par degré en remontant, ainſi que nous venons de le dire, la force augmentera en remontant juſqu'à ce

qu'elle ſoit devenue la même que ſi le déverſoir n'exiſtoit pas. Donc (174) *la groſſièreté des matières ſera à ſon* MINIMUM *près du déverſoir, & elle augmentera progreſſivement en remontant.*

Chaque déverſoir produit au fond du lit une courbe aſſymptotique.

187. En appliquant au lit d'une rivière, coupé par divers déverſoirs, ce que nous avons dit (179), on verra que le fond formera diverſes lignes aſſymptotiques, interrompues par ces mêmes déverſoirs auxquels répondront reſpectivement les moindres ordonnées; car la loi des vîteſſes & des forces du courant, ſoit en amont & en aval des deux déverſoirs extrêmes, ſoit dans les entre deux, ſe trouvant la même que s'il n'en exiſtoit aucun, la courbe du fond doit être rangée dans la même claſſe.

Combien l'uſage des déverſoirs eſt pernicieux.

188. L'uſage des déverſoirs eſt très-pernicieux dans une infinité de cas; car, outre qu'ils gênent & ſouvent même qu'ils interrompent la navigation ou la flottaiſon, ſi les domaines adjacens ont peu de hauteur, ils forcent les eaux des crues à les inonder; de-là réſulte non ſeulement la perte des récoltes, mais encore l'origine des marais qui privent la ſociété de terreins précieux & qui nuiſent à la ſanté des habitans par l'inſalubrité dont ils infectent l'air environnant; de ſimples canaux de dérivation, dont la priſe d'eau ſeroit un peu au-deſſus de l'extrémité G des eaux rendues ſtagnantes par le déverſoir, produiroient la même chûte, ſeroient ſouvent d'une conſtruction & d'un entretien qui exigeroient moins de frais & n'auroient aucun des inconveniens de ces ſortes d'ouvrages de barrage.

Effets réſultans de la démolition d'un déverſoir.

189. *Si l'on détruit un déverſoir, on augmentera d'autant la pente de la rivière, & alors il en réſultera l'effet mentionné au n.* 181. La choſe eſt évidente & n'a pas beſoin de demonſtration.

Ce qu'il y auroit de plus eſſentiel eſt que la démolition des déverſoirs anéantiroit tous les effets déſaſtreux qu'ils produiſent, & dont nous venons de parler au n. précédent.

La groſſièreté des matières du fond étant conſtante, la pente diminuera lorſque le volume d'eau augmentera.

190. *Lorſque le volume d'eau augmente, & que la groſſièreté des matières eſt conſtante, la pente diminue.*

Car puiſque la groſſièreté des matières du fond eſt conſtante, leur réſiſtance doit l'être auſſi. Donc il doit en être de même de la force de la rivière dans l'équilibre. Par conſéquent, puiſque la maſſe a augmenté, il faut que la vîteſſe diminue à proportion. Donc (170) la pente doit pareillement diminuer.

Donc en aval d'un confluent la pente de la rivière principale diminuera.

191. *Il ſuit de-là qu'en aval du confluent des deux rivières, la pente de la rivière principale doit être moindre qu'en amont.* C'eſt une conſéquence, non ſeulement de la propoſition du n. 190, mais encore du n. 177; & elle eſt trop claire pour y inſiſter, d'autant mieux qu'à chaque pas l'expérience le prouve.

Les rétréciſſemens du lit en diminuent la pente.

192. *Si par quelque cauſe que ce ſoit le lit d'une rivière ſe rétrécit en un endroit determiné, la pente diminuera en aval.*

Car dans ce cas, toute la rivière ſe trouvant réduite ſur un moindre eſpace, doit éprouver les mêmes ſymptômes que ſi elle recevoit un plus grand volume d'eau.

Si la groſſièreté des matières du fond eſt conſtante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera.

193. *Si la groſſièreté du gravier eſt conſtante, & que le volume d'eau diminue, la pente augmentera.*

Car la réſiſtance eſt conſtante, & la force eſt moindre par la diminution de la maſſe. Donc il faut, pour l'équilibre, que cette force ſe rétabliſſe par l'augmentation de vîteſſe: or (170), la vîteſſe ne peut augmenter que par la pente; donc la pente augmentera.

Conſéquences qui en réſultent.

194. Donc, 1°. *ſi l'on ſaigne une rivière, la pente en aval doit augmenter.* Car alors le volume d'eau diminuera, & par le n. précédent la vîteſſe doit augmenter ainſi que la pente.

2°. *Si dans ce même cas la pente reſte conſtante, la vîteſſe doit diminuer.* Car alors les obſtacles l'emportant ſur la force, agiſſent avec plus d'énergie. Cela eſt confirmé par l'expérience des canaux dans leſquels la vîteſſe diminue à meſure qu'on en dérive les eaux en plus ou moins grande quantité.

3°. *Si une rivière eſt trop large, ſa pente augmentera.* Cela eſt évident, puiſqu'alors chaque partie de la largeur aura moins d'eau que ſi le lit étoit plus réduit. Or, dans ce cas la rivière devient la même que ſi ſon volume d'eau avoit diminué.

4°. *Une rivière trop large exhauſſera ſon lit.* Car l'augmentation de pente ne peut avoir lieu que par l'exhauſſement. D'ailleurs, pour bien ſe convaincre de cette vérité, qui eſt eſſentielle, on n'a qu'à faire attention que dans une rivière trop large, la force diminuant, le courant ne peut plus entraîner les matériaux qu'il entraînoit auparavant : ces matériaux, en ſe dépoſant, doivent donc exhauſſer le lit.

§. II.

De l'action des eaux ſur le fond en gravier; de la corroſion qui s'y exerce, & des moyens de la provoquer & de la modifier.

Les eaux ſuperficielles éprouvent une accélération.

195. Juſqu'ici nous n'avons conſidéré qu'en général la pente qui réſultoit de l'équilibre entre l'action des eaux & la réſiſtance du fond; & c'eſt d'après cela que nous avons conclu (179) que la forme du lit d'une rivière ſuivroit la loi d'une courbe aſſymptotique. Cette réſiſtance de la groſſièreté des matières du fond, eſt un des moyens dont la nature s'eſt ſervié pour modérer, à chaque pas, l'effet de l'accélération : mais outre ce moyen, elle en emploie un autre incomparablement plus efficace, & auquel il paroît que juſqu'à préſent on n'a pas fait aſſez d'attention.

En effet, ſi l'on ſuppoſe l'équilibre exact entre l'action des eaux du volume d'équilibre & la réſiſtance du fond, il eſt viſible que le moindre accroiſſement d'action qui réſultera d'une légère augmentation de vîteſſe, détruira cet équilibre & bouleverſera le fond. Or, c'eſt ce qui arriveroit habituellement; car les eaux de la ſuperficie ſe reſſentent peu, en général, de la réſiſtance du fond, ſur-tout pour peu de profondeur qu'ait la rivière. Dans ce

cas, ces eaux s'accélérant, procureront, par leur adhéſion & leur viſcoſité naturelles, aux eaux inférieures, une augmentation de vîteſſe & de force qui, l'emportant ſur la réſiſtance des matières du fond, détruira l'équilibre précédemment établi, & mettra tout en mouvenment par un déplacement général. Suivons donc les progrès de cette accélération, & voyons de quelle manière la nature la détruit.

L'équilibre exige des gouffres. Fig. 11.

196. Soit AB (fig. 11) un des plans inclinés qui forment les élémens de la courbe générale aſſymprotique du lit (179). Supposons qu'au point A il y ait équilibre entre l'action des eaux & de la réſiſtance du fond compoſé, ainſi qu'il a été dit (165), de galets de toutes ſortes de groſſeur au-deſſous d'un volume déterminé. Diviſons la ligne AB en petites parties telles que AD, DE, EF, FG, GH, &c., les eaux ſuperficielles, en s'accélérant librement, procureront (195) à la maſſe, une augmentation de force d'un degré en D, de deux en E, de trois en F, de quatre en G, de cinq en H, &c. Par conſéquent cette force, en s'accroiſſant, enlèvera en E les matières les plus légères, en F des matières un peu plus peſantes que les précédentes, & ainſi de ſuite. Or on ſent qu'à la ſuite de cette accélération la force du courant deviendra aſſez grande pour, qu'à un point quelconque H, non ſeulement il ne reſte plus au fond que les plus gros galets, mais encore que ces mêmes galets ne puiſſent pas lui réſiſter & qu'ils ſoient eux-mêmes entraînés. Alors la rivière eſt dans le même cas qu'un torrent qui deſcend d'une montagne & auquel les matières du fond ne peuvent point réſiſter, & par conſéquent (110) la ligne du fond KL s'approchera toujours plus de la verticale, ou s'éloignera toujours davantage de la direction de AB; mais le courant ne peut pas continuer ſa route ſuivant la direction de KL dont le prolongement entre dans le globe comme ſécante, & il faut de néceſſité qu'il revienne à la ſurface de la terre ſur la ligne AB; il ne peut pas y arriver par l'horiſontale LN, puiſqu'à raiſon de la grande obli-

quité de KL, la deſtruction de force, par la réſiſtance de LN, ſeroit très-petite, & que les matières qui y ſeroient répandues ne pourroient pas lui réſiſter : encore moins pour cette même raiſon n'y peut-il pas parvenir par la ligne inclinée LP. Donc il ne peut revenir ſur AB que par la ligne en contrepente LM qui détruira ſa vîteſſe de manière qu'en M elle ſera la même, ou à peu près, qu'en A. Au point M la même accélération qui a déjà eu lieu en A agira ſur la partie MQ de la même manière qu'elle a agi ſur AK, & ainſi de ſuite. Or puiſque LM eſt en contre-pente, le point L eſt plus bas que le point M. Donc KLM forme un gouffre. Donc *l'équilibre dans les rivières exige que par intervalles il ſe creuſe des gouffres qui détruiſent la plus grande partie de la vîteſſe acquiſe par l'accélération des eaux de la ſuperficie.*

Preuve tirée de l'expérience.

197. Cette propoſition eſt amplement prouvée par l'expérience. Qu'on parcoure toutes les rivières qui charient du gravier, par-tout on obſervera ces gouffres creuſés de diſtance en diſtance, avec diverſes modifications, à la vérité, mais qui tiennent aux localités & qui n'altèrent en aucune manière le principe. Jamais au contraire on ne rencontrera de lit dont le fond forme un plan incliné ou une courbe ſans interruption. La choſe eſt ſur-tout ſenſible dans les branches des rivières qui reſtent à ſec après une crue. On y voit ces gouffres remplis d'eau; ce qui prouve leur contrepente: car ſans cette raiſon il eſt viſible que cette eau ſtagnante ſe ſeroit écoulée.

La profondeur des gouffres dépend de celle du courant & du degré de pente. Fig. 11.

198. *La profondeur des gouffres eſt plus ou moins grande ſuivant la profondeur d'eau & la pente des rivières*

1°. L'accélération ſera d'autant plus forte que la profondeur & la pente de la rivière ſeront plus conſidérables. (195) Donc la force étant alors plus grande, KL s'écartera davantage de la ligne AB, & (110) s'approchera davantage de la verticale KR.

2°. Puiſque (196) la ligne de contre-pente LM détruit la force d'accélération, elle doit être aſſez longue pour recevoir le choc de tous les filets qui coulent ſur KL depuis le fond

juſqu'à la ſuperficie de l'eau ; la longueur ſera donc, toutes choſes d'ailleurs égales, proportionnelle à la profondeur des eaux.

Cela poſé, il eſt viſible que dans le triangle KLM le point L s'éloignera d'autant plus de KM que ML s'allongera davantage, par le rapprochement de KL, de la verticale KR. Donc la profondeur des gouffres ſuivra la loi ci-deſſus ; ce qui eſt conforme à l'expérience ; car dans les petites rivières les gouffres n'y ſont pas auſſi profonds que dans les grandes, toutes choſes d'ailleurs égales.

La diſtance des gouffres ſuit la raiſon inverſe de la pente. Fig. 11.

199. *La diſtance d'un gouffre à l'autre ſera, toutes choſes égales, d'autant plus petite ou plus grande, que la pente ſera plus ou moins conſidérable.*

1°. Plus la pente ſera grande, plus l'accélération des eaux de la ſuperficie ſera rapide. Donc plus AK ſera petite.

2°. Au contraire moins la pente ſera grande, plus l'accélération des eaux ſuperficielles ſera petite, & conſéquemment plus AK ſera conſidérable.

Tout cela eſt conforme à l'expérience.

Variations de la groſſièreté des matières d'un gouffre à l'autre. Fig. 11.

200. De la propoſition du n. 196 il ſuit que *la groſſiereté des matériaux du fond doit augmenter progreſſivement en avançant du gouffre d'amont vers le gouffre d'aval.*

Car nous avons vu que le courant enlevoit continuellement les matières les moins peſantes ſur les eſpaces AD, DE, EF, &c. juſqu'à ce qu'il ne reſte plus que les matières les plus groſſières.

Variations de la viteſſe des rivières d'un gouffre à l'autre.

201. La vîteſſe du courant s'accélère depuis A juſqu'à L, ainſi que nous l'avons vu (196), & elle ſe détruit ſur LM. Donc la vîteſſe des rivières n'eſt point uniforme ; elle varie continuellement depuis la ſortie d'un gouffre juſqu'à la ſortie de l'autre. *La plus grande vîteſſe eſt donc à l'entrée d'un gouffre, & la moindre eſt à ſa ſortie.*

202.

202. Il ſuit de-là que *les gués des rivières doivent ſe trouver à la ſortie d'un gouffre*; car les endroits guéables ſont ceux où la vîteſſe du courant eſt la moindre poſſible. Or, cela arrive particulièrement au ſortir des gouffres, quoique ſouvent la profondeur y ſoit aſſez conſidérable. Au ſurplus, les localités en offrent ſouvent d'autres, où les eaux s'étendant ſur une ſuperficie conſidérable, perdent une grande partie de leur vîteſſe.

En quels endroits les rivières ſont guéables.

203. La vîteſſe d'une rivière variant continuellement, ſi l'on ſe ſert des corps flottans pour la meſurer, on ne pourra avoir que la vîteſſe moyenne des eaux de la ſurface ſur l'eſpace parcouru par ces corps. Si l'on emploie le quart de cercle, on ſent combien il ſeroit ſouvent embarraſſant pour l'établir. Par conſéquent, de toutes les machines propoſées par les auteurs, nous ne voyons guères que le tube de Pitot, dont on puiſſe commodément faire uſage pour cet objet: il ſatisfait à tout, & il eſt très-aiſé à manier dans le courant: ce n'eſt pas néanmoins qu'il n'ait quelques inconvéniens; mais quel eſt l'inſtrument de ce genre qui n'en a pas? D'ailleurs, ils ſont ſi peu de choſe, que ce n'eſt pas la peine de s'y arrêter, ſur-tout ſur un objet de cette nature.

Inſtrumens pour meſurer la vîteſſe des eaux.

204. La conſtruction & l'uſage de la machine de Pitot ſont décrits fort au long dans les mémoires de l'Académie des ſciences de l'année 1732. Le principe qui lui ſert de baſe eſt que la vîteſſe de l'eau doit être regardée comme celle acquiſe par la chûte d'un corps le long d'un plan incliné, & que d'après la théorie des graves, l'eau animée de cette vîteſſe doit remonter à la hauteur d'où elle auroit dû tomber pour l'acquérir.

Deſcription & uſage de la machine de Pitot.

Pour rendre cette machine plus uſuelle, nous en conſerverons le fond; mais nous y ferons quelques changemens qui la rendront plus ſimple & plus commode.

AHGLKB (*fig.* 12) eſt un priſme triangulaire droit à faces égales d'environ 6 pouces de largeur & d'une hauteur qui excède

d'environ un pied la profondeur des eaux de la rivière ſur laquelle on doit l'employer. Il ſera percé ſuivant ſon axe d'un trou cylindrique d'environ deux pouces & demi de diamètre, pour recevoir la pièce cylindrique CD de même calibre, deux fois plus longue que le priſme & armée à ſon extrêmité inférieure d'un ſabot en fer DE par le moyen duquel on puiſſe l'arrêter ſolidement au fond de la rivière dans l'endroit où l'on voudra opérer. Sur une de ſes faces latérales, le priſme portera trois vis F, à l'aide deſquelles on l'arrêtera le long du cylindre CD à la hauteur qu'on voudra.

Sur la face GHKL on pratiquera deux rainures égales paralèlles entr'elles & aux arêtes du priſme. Elles ſeront deſtinées à recevoir & à loger les deux tubes de verre MN, PQ. Ces tubes ſeront à quelques pouces près de même longueur que l'arête HK du priſme. PQ ſera droit & couvert par les deux bouts; mais l'extrêmité inférieure de MN ſera courbée en quart de cercle & évaſée en entonnoir NRS.

Ces deux tubes auront environ un pouce de diamètre intérieur: ils ſeront enchaſſés & ſolidement arrêtés dans les deux rainures ci-deſſus, de façon que l'extrêmité Q & le centre de l'ouverture RS de l'entonnoir ſoient ſur la même ligne de niveau & que le plan qui paſſe par l'axe, tant du tube MN que de la partie évaſée NRS ſoit perpendiculaire à la face GHKL du priſme.

Cette même face, à partir de la ligne de niveau qui paſſera par l'extrêmité inférieure du tube PQ, ſera diviſée ſur ſa hauteur, en pieds, pouces & lignes.

Tel eſt à-peu-près l'inſtrument de Pitot. En voici l'uſage.

Quand on voudra meſurer la vîteſſe des eaux d'une rivière à un endroit déterminé, on fera placer la pièce CD en cet endroit, & on l'arrêtera au fond par le moyen du ſabot DE. On aura ſoin que celui qui la ſoutiendra, la tienne à plomb. On fera deſcendre le priſme juſqu'à ce que l'extrêmité Q

du tube droit ſoit à la profondeur à laquelle on veut opérer, & alors on la fixera au cylindre CD par le moyen des vis F : enſuite, on dirigera l'inſtrument de manière que la face GHKL ſe préſente perpendiculairement à la direction du courant, & que l'eau entre directement dans l'entonnoir NRS du tube MN.

Tout étant ainſi diſpoſé, il eſt viſible 1°. que l'eau ſe mettra de niveau dans le tube droit PQ avec celle du courant ; 2°. que s'engouffrant dans l'entonnoir NRS, elle remontera au-deſſus de ſon niveau dans le tube MN ; 3°. que cet excès d'élévation ſera la hauteur due à la vîteſſe dont il eſt l'effet. On prendra donc cette différence de hauteur ſur les diviſions de l'inſtrument, & on aura la hauteur due à la vîteſſe des eaux en cet endroit.

Nommons v la vîteſſe acquiſe par la chûte d'un corps, & h la hauteur de la chûte. Par la théorie de la deſcente des corps peſans (101); *on a* $v = \sqrt{60h}$; c'eſt-à-dire, que la vîteſſe acquiſe par la chûte, le long de la hauteur h, ou l'eſpace parcouru d'un mouvement uniforme, dans une ſeconde, & évalué en pieds, ſe trouve, par la racine quarrée de la hauteur, auſſi évaluée en pieds, & priſe ſoixante fois.

Suppoſons donc qu'on trouve, ſur les diviſions de l'inſtrument, cet excès de hauteur d'eau dans les deux tubes $= 3$ pouces $= \frac{1}{4}$ pied, on aura la vîteſſe $v = \sqrt{60\frac{1}{4}} = \sqrt{15} = 4$ pieds, à très-peu de choſe près.

Du reſte, nous le répétons, cet inſtrument peut être perfectionné ; mais en attendant mieux, on peut s'en ſervir ainſi que nous venons de le dire.

205. La pente des rivières n'eſt pas plus uniforme que la vîteſſe : elle eſt, comme on a vu (196), par reſſauts. Cependant il y a une pente générale qui ſe rapporte conſtamment à la ligne AB (*fig.* 11), & c'eſt celle qu'on doit prendre pour la

Comment on doit prendre la pente d'une rivière. Fig. 11.

pente de la rivière, dans une partie déterminée de ſon cours. Pour l'avoir exactement, on doit prendre pour les termes extrêmes du nivellement qu'on fera à cet effet, la ſuperficie au ſortir de deux gouffres ; il faut même avoir ſoin de choiſir deux gouffres qui ne ſoient pas conſécutifs, mais éloignés le plus poſſible l'un de l'autre, & au moins d'environ 400 toiſes : cette pente ainſi déterminée, ſera la pente réduite de la rivière dans cette partie de ſon cours.

La courbe aſſymptotique du fond ſera dentelée par les gouffres.

206. Si l'on applique à la courbe aſſymptotique du cours général d'une rivière ce que nous venons de dire au ſujet des gouffres que l'équilibre exige, on verra que cette courbe doit être dentelée dans ſa longueur & à des intervalles plus ou moins grands, ſelon qu'on s'éloignera plus ou moins de la ſource (199). Cela confirme toujours mieux ce que nous avons dit plus haut ſur l'impoſſibilité de trouver une équation générale qui embraſſe toute la théorie des rivières, & ſur la néceſſité de ſe borner à des approximations.

Les gouffres diſparoîtront pendant les crues.
Fig. 11.

207. S'il ſurvient une crue, d'une part, les eaux charieront du gravier, & combleront le gouffre KLM (*fig.* 11.); & de l'autre, leur force augmentant, elles écorneront & corroderont les parties ſaillantes M à l'iſſue des gouffres, comme étant les plus expoſées & les moins ſoutenues : alors l'équilibre ſera par-tout rompu, & le fond ſera dans un mouvement général ; mais la crue finie, les gouffres reparoîtront au même endroit ou ailleurs, ſuivant les circonſtances ; l'équilibre ſe rétablira dans les entre-deux, & tout reprendra une forme ſtable juſqu'à la crue ſuivante.

C'eſt auſſi ce que l'expérience prouve. Car dans les crues on ne remarque plus aucun veſtige de gouffre. On entend très-diſtinctement les galets rouler, preuve bien ſenſible & de la rupture de l'équilibre & du déſordre qui règne au fond. Mais après la crue tous ces mouvemens ceſſent & les gouffres ſe rétabliſſent.

208. Nous avons vu dans le paragraphe précédent que la groſſièreté des matières qui compoſent le fond eſt toujours relative à la maſſe d'eau d'équilibre & à la pente. D'un autre côté, nous venons de dire que dans les crues toutes les matières ſont en mouvement. Suppoſons que le haſard ou la main de l'homme ait jetté dans un endroit déterminé du lit une pierre d'un volume beaucoup plus conſidérable que les plus lourdes qui ſe trouvent en cet endroit par l'effet de l'équilibre, & examinons ce qu'elle deviendra dans une crue. On verra dans la ſuite lorſque nous traiterons des digues, que cette queſtion a ſon utilité.

Quelles ſont les pierres qui ne ſeront pas entraînées par le courant.

Cette pierre perdant dans l'eau autant de ſon poids que pèſe un pareil volume d'eau, n'aura plus que ſon poids relatif. Si ſa figure eſt propre au mouvement & que le poids relatif ne ſoit pas fort conſidérable, elle ſera entraînée juſqu'à l'endroit où le courant en s'étendant perdra de ſa vîteſſe & de ſa force. Alors les eaux correſpondantes franchiſſant cette pierre, l'affouilleront en aval, & enfin la pouſſeront dans cet affouillement. Dans ce cas, ſi elle n'eſt pas trop volumineuſe, elle diſparoîtra entièrement. Si au contraire, elle paroîtra en partie au-deſſus de la ſurface du fond. Mais ſi elle étoit d'une forme qui ne fût aucunement propre au mouvement, ou ſi elle étoit d'un volume démeſurément grand, elle ſeroit affouillée & enterrée ſur la place, & elle diſparoîtroit entièrement ou ſeulement en partie ſuivant ſa groſſeur, ainſi que dans le premier cas.

C'eſt ce qui arrive journellement, ſoit aux gros quartiers de pierres dont on conſtruit les digues, ſoit à ceux qui tombent du penchant d'une montagne dans le lit d'une rivière qui paſſe à ſon pied, ſoit enfin à ceux que les grands torrens y charient. On peut obſerver qu'ils juſtifient tout ce que nous venons de dire.

Juſqu'ici nous avons parlé des corroſions naturelles exercées

ſur le fond : nous allons à préſent parler des corroſions artificielles ou provoquées par des ouvrages d'art.

Un rétréciſſement devroit abaiſſer le lit juſqu'à la ſource, Fig. 13.

209. Soient AB (*fig.* 13) le lit d'une rivière dont la pente ſur cet eſpace eſt AC. Suppoſons un rétréciſſement en D ; d'après ce que nous avons dit (192), le lit prendra la poſition EB en aval du point D : dans ce cas, les eaux en amont de D auront une pente = DE de plus qu'elles n'avoient auparavant. Donc (180) la groſſièreté du gravier devroit alors augmenter ; mais (190) par hypothèſe, cette groſſièreté eſt conſtante : donc la maſſe des eaux en amont étant conſtante, ainſi que la réſiſtance du fond, la vîteſſe doit y diminuer. Or, elle ne peut diminuer (170) que par la diminution de la pente : donc, à la rigueur, le nouveau fond A'E devroit avoir moins de pente que le fond primitif AD, & par conſéquent *la rivière devroit abaiſſer ſon lit en amont juſqu'à ſa ſource.*

Raiſons pour leſquelles l'abaiſſement n'aura lieu que juſqu'à une certaine diſtance en amont.

210. Cependant il ne faut pas abuſer des principes ; la raiſon nous fait ſentir que cet abaiſſement doit avoir un terme. En effet :

1°. Quoique (178) la groſſièreté du gravier doive être regardée comme conſtante au même endroit, cependant, comme (165) ce gravier eſt compoſé de galets de toutes groſſeurs au-deſſous d'un volume déterminé, on ſent que la force du courant en augmentant, entraînera toutes les matières les moins volumineuſes, & qu'alors le fond étant compoſé des plus gros galets, exercera la même réſiſtance que ſi la groſſièreté du gravier avoit augmenté.

2°. Nous venons de voir (196) que pour détruire cet excès de vîteſſe la nature provoque par intervalles des gouffres en contre-pente. Ces gouffres auront donc lieu ſur le nouveau fond quel qu'il ſoit d'ailleurs.

Par conſéquent, d'après ces raiſons, *le nouveau fond ne ſera point EA', mais EA qui rencontrera la ligne BA du premier en un point A pris à une certaine diſtance en amont du point*

D du rétréciſſement ; diſtance d'autant plus grande que la pente ſera moindre.

La corroſion du fond, occaſionnée par un rétréciſſement, s'étendra davantage en amont qu'en aval.

211. L'on voit évidemment qu'un pareil changement de pente dans la partie AB du lit ne peut s'opérer ſans corroſion ſur le fond. Or, par ce que nous venons de voir, (192, 209 & 210) il eſt clair que le nouveau fond rencontrera beaucoup plutôt l'ancien en aval qu'en amont du point D ; puiſque dans le premier cas les lignes DB & EB concourent naturellement, tandis qu'il n'en eſt pas de même de DA & EA. Donc *la corroſion du fond opérée par l'effet du rétréciſſement d'une rivière ſe fera ſentir plus loin en amont qu'en aval.*

Preuves tirées de l'expérience.

212. Ce que nous venons de dire à ce ſujet eſt juſtifié par l'expérience.

1°. Par-tout où l'on a conſtruit des ponts qui ont rétréci le lit des rivières, on peut voir qu'on a forcé le courant à creuſer d'autant plus que le lit ſe trouve plus rétréci. Il y en a des exemples ſans nombre ; mais nous ne citerons que le pont conſtruit ſur la rivière d'Iſſolle, à Saint-André, dans le département des Baſſes-Alpes. Ce pont ayant réduit aux deux tiers la largeur du lit de la rivière, a forcé le courant à creuſer plus de trois pieds ; &, en même tems, cette corroſion s'eſt fait ſentir à environ 400 toiſes en aval, & à plus de 1000 toiſes en amont, quoique la pente y ſoit d'environ 9 pieds ſur 100 toiſes.

2°. Le lit du Verdon à Caſtellanne dans le même département, a été pareillement réduit par une digue. Il en eſt encore réſulté une corroſion conſidérable & qui s'eſt étendue beaucoup plus en amont qu'en aval.

Ainſi la théorie & l'expérience prouvent qu'*en reſſerrant le lit d'une rivière à un endroit déterminé, le courant corrode le fond ; que cette corroſion s'exerce en amont & en aval, mais plus loin en amont qu'en aval.*

Effets produits par un radier conſtruit à un rétréciſſement. Fig. 14.

213. Si par l'effet d'un rétréciſſement en D (*fig.* 14.) le courant doit creuſer ſur l'eſpace AB, & établir le fond ſuivant la ligne AEB, & qu'on barre le lit par un radier EFGH; nous diſons :

1°. Que *le nouveau fond en amont ne pourra pas s'établir au-deſſous de la ligne AF qui paſſe par le couronnement du radier.*

2°. Qu'*en aval le nouveau fond s'établira ſur EB de même que s'il n'y avoit point de radier.*

3°. Qu'*il y aura par conſéquent une caſcade GH.*

La première partie eſt évidente : car ſi l'équilibre exigeoit la pente de AE pour s'établir, à plus forte raiſon s'établira-t-il ſous la pente de AF moindre que celle de AE.

On ſe convaincra de la ſeconde partie, en faiſant attention que le courant ne s'établit ſur EB, dont la pente eſt moindre que celle de DB, que parce que la force augmente, & qu'à raiſon de cela, les plus petits galets étant entraînés, ainſi que nous avons dit (210) que la choſe avoit lieu ſur AE, la réſiſtance dépend, à la rigueur, en partie de l'augmentation de groſſièreté du gravier : elle doit donc dépendre auſſi de la longueur de EB ſur laquelle ces galets ſont diſſéminés. Or, ſi nous menons, par le couronnement du radier, la ligne GB' parallelle à HB, elle ſera plus courte que cette dernière. Donc elle ne ſuffira pas à l'équilibre. Par conſéquent elle doit s'abaiſſer au-deſſous & prendre la poſition EB, la ſeule dont la longueur lui convienne pour l'équilibre.

Quant à la troiſième partie, elle devient évidente par les deux autres. Car AF étant plus haute que EB, le courant doit éprouver une caſcade en GH.

Preuve tirée de l'expérience.

214. Ce que nous venons de dire eſt prouvé par l'expérience. Le pont du Verdon à Vinon, ſur les limites des départemens du Var & des Baſſes-Alpes, a été conſtruit ſur un rocher dans lequel on a creuſé le lit de la rivière. Ce lit ayant été réduit par

par le pont, le rocher ſervant de radier auroit dû être arraſé à la profondeur de la corroſion qui devoit avoir lieu, tandis qu'il ne l'a été qu'à la profondeur de l'ancien lit : auſſi en eſt-il arrivé qu'il y a eu une caſcade conſidérable à l'iſſue du rocher; que le lit en aval s'eſt ſenſiblement abaiſſé, & qu'il n'eſt ſurvenu aucun changement en amont.

Emploi des radiers pour préſerver de la corroſion les ouvrages d'art en amont.

215. Il ſuit de la propoſition du n. 213, que *ſi l'on veut mettre à l'abri des affouillemens d'une rivière des édifices, des ponts, &c. conſtruits ſur ſon lit, il ſuffira de barrer ce lit par un radier placé en aval à une hauteur convenable.* Car le courant ne pouvant pas s'abaiſſer au-deſſous de la ligne AF, il eſt viſible que ſi les baſſes fondations des ouvrages qu'on veut défendre ſont inférieures à cette ligne, elles ſeront à l'abri de tout affouillement.

Utilité des radiers dans la conſtruction des ponts.

216. Ces ſortes d'ouvrages ſont eſſentiels dans une infinité de cas, & ſur-tout dans la conſtruction des ponts. Dans ce dernier cas, on voit qu'il eſt à propos de tracer le radier ſur la tranſverſale qui joint les ouvrages extérieurs en aval des piles : alors il mettra à couvert de la corroſion les fondations de tous les travaux, ce qui pourra diminuer conſidérablement les frais de conſtruction. Il faut néanmoins en excepter les affouillemens qui ont lieu aux arrières-becs, & qui tiennent à un mouvement de turbination produit par la réunion des courans en aval des piles. Cependant, quoiqu'étrangers à la corroſion directe, ces affouillemens peuvent être prévenus en donnant au radier une largeur ſuffiſante pour aboutir juſqu'au parement d'aval du pont; car alors, ne préſentant à l'action des eaux qu'une ſurface incorroſible, il eſt clair que ces affouillemens n'auront pas lieu.

Au ſurplus, dans tous les cas, ſi la rivière eſt navigable ou flottable, on doit placer le radier à la profondeur convenable pour qu'il n'y ait pas de caſcade à ſon iſſue (213) : car on ſent

combien les caſcades ſont nuiſibles à la navigation & à la flottaiſon.

Dans les rétréciſſemens, la profondeur de la corroſion eſt en raiſon inverſe de la largeur des rétréciſſemens. Fig. 14.

217. *Si l'on rétrécit le lit d'une rivière, la profondeur de la corroſion ſera d'autant plus grande, que la rivière ſera plus reſſerrée.*

Pour le démontrer, ſuppoſons que la rivière ait eſſuyé au même endroit D deux rétréciſſemens conſécutifs, dont le ſecond ſoit plus fort que le premier, & que par l'effet du premier le fond en aval ait pris la poſition EB : nous allons voir qu'à la ſuite du ſecond, la nouvelle poſition E'B" ſera inférieure à EB.

Les obſervations que nous avons faites (209) ſur la groſſièreté des galets & les gouffres du nouveau fond AE en amont, doivent viſiblement s'appliquer au nouveau fond EB en aval. Donc, puiſque par hypothèſe il y a augmentation de force dans le nouveau rétréciſſement, il doit y avoir auſſi, pour la détruire, une augmentation d'obſtacles. Mais, d'une part, lorſque la groſſièreté des galets ſera parvenue à ſon *maximum*, elle s'arrêtera ; & de l'autre, la pente de E'B" devant (192) être moindre que celle de EB, il y aura (199) moins de gouffres ſur E'B" que ſur EB : donc cette augmentation d'obſtacles ne peut avoir lieu que par une augmentation de longueur du nouveau fond : ce nouveau fond E'B" ſera donc plus long que EB à proportion de l'augmentation du rétréciſſement. Or, ſi ce nouveau fond tomboit ſur EB ou ſupérieurement, il ſeroit ſeulement égal ou moindre en longueur : donc il doit tomber au-deſſous & prendre la poſition E'B". Par conſéquent DE' ſera plus grande que DE ; & elle ſera d'autant plus grande, que E'B" ſera plus longue ou que la rivière ſera plus rétrécie en D.

La choſe eſt d'ailleurs évidente par l'expérience. Car par-tout où l'on a inégalement rétréci le lit d'une rivière, on s'eſt conſtamment apperçu que la corroſion du fond étoit aſſez généralement en raiſon inverſe de la largeur qu'on laiſſoit au courant.

218. Pour opérer la corroſion dont nous parlons, les eaux d'équilibre (89. 2°.) ſuffiroient; mais c'eſt particulièrement dans les crues qu'elle s'effectue : car par le moyen du moindre rétréciſſement, la plus petite crue équivaut à une crue beaucoup plus forte, par l'augmentation de profondeur qu'elle procure aux eaux; & l'on ſait, par ce qui précède, que c'eſt particulièrement dans les fortes crues que les eaux travaillent le fond.

La corroſion s'opère ſur-tout pendant les crues.

C'eſt encore ce que l'expérience confirme; car, dans les exemples que nous avons rapportés (212) ſur les rivières d'Iſſole & de Verdon, on a donné une largeur ſenſiblement plus grande que celle qu'il convenoit de donner aux eaux d'équilibre. Cependant, ces rivières n'ont pas laiſſé de corroder le fond & d'abaiſſer leur lit. On peut faire la même obſervation ſur les divers ponts auxquels on a donné plus d'ouverture qu'il n'en faut aux eaux d'équilibre.

219. *Si l'on reſſerre le lit d'une rivière un peu au-deſſous du point B où la corroſion opérée par un premier rétréciſſement en D ceſſe, le courant entretiendra la première & la propagera en aval.*

La corroſion du fond ſe propagera par des rétréciſſemens conſécutifs. Fig. 14.

Cela eſt évident, puiſque, toutes choſes d'ailleurs égales, les mêmes cauſes produiſent les mêmes effets.

220. Il ſuit de-là, 1°. que *Si l'on veut réduire une rivière, & la forcer à creuſer ſur une certaine longueur, il ſuffit d'en rétrécir le lit par intervalles, & aux endroits où la corroſion produite par le rétréciſſement voiſin ceſſera.*

Donc les rétréciſſemens par intervalles réduiront le lit des rivières.

2°. Que par conſéquent *la réduction du lit d'une rivière n'a pas beſoin d'ouvrages continus.*

Ces conſéquences ſont eſſentielles; car on verra bientôt qu'elles faciliteront beaucoup les ouvrages d'art qu'on eſt obligé d'exécuter pour contenir les rivières, & qu'elles diminueront infiniment les frais de conſtruction. Nous allons entrer dans quelques détails à ce ſujet.

Quels sont les élémens qui déterminent la largeur des rétréciſſemens.

221. En rétréciſſant le lit d'une rivière, il eſt démontré (217) que moins on lui donnera de largeur, plus elle creuſera. Par conſéquent, comme il eſt très-avantageux que ce lit ſoit le plus profond poſſible, il ſemble, au premier abord, que le rétréciſſement devroit être auſſi le plus fort poſſible : mais dans la pratique, la choſe eſt inadmiſſible, & ce rétréciſſement doit avoir des bornes. En effet, la largeur du lit doit être telle que les eaux des plus grandes crues puiſſent paſſer librement. D'ailleurs, l'objet qu'on a en vue, en forçant une rivière à creuſer, eſt de mettre les propriétés riveraines à l'abri des inondations. Or, pour cela, il faut en général peu d'augmentation de profondeur dans les rivières dont nous parlons. Ainſi, juſques-là il paroît qu'il vaut mieux donner plus que moins de largeur aux rétréciſſemens. Cependant, d'un autre côté, nous verrons bientôt que ſi l'on donne trop de largeur, la rivière ſerpentera ; qu'elle ſe diviſera en pluſieurs branches ; qu'on ne garantira qu'imparfaitement les domaines riverains, & que, par conſéquent, on n'atteindra pas l'objet qu'on ſe propoſe.

En peſant toutes ces conſidérations, il paroît que le volume d'eau, dans les plus grandes crues, eſt le principal élément qui doit fixer la largeur des rétréciſſemens. C'eſt donc ſur ce volume qu'on la règlera, & c'eſt ſur la profondeur que ces eaux doivent avoir en ces endroits, qu'on déterminera la hauteur des ouvrages, afin qu'ils ne ſoient pas franchis. Par conſéquent, tout eſt ſubordonné aux obſervations à faire à cet égard ſur les rivières ſur leſquelles on ſe propoſe d'opérer.

§. III.

Des variations des Rivières à fond de gravier, & de leur action ſur les bords.

Les rivières tendent à ſuivre la ligne droite.

222. *Les rivières tendent à ſuivre la ligne droite.*

Cette propoſition n'eſt que le principe du n. 105 1°. Ainſi, il

n'a pas beſoin de démonſtration. Nous en concluerons ſeulement, que lorſqu'elles ſerpentent ou qu'elles changent de direction, c'eſt parce que ces effets ſont provoqués par des cauſes particulières que nous allons examiner.

Si le lit eſt trop large, le courant ſe portera vers les bords.

223. Nous avons démontré (194 4°.) que lorſque le lit d'une rivière eſt trop large, il s'exhauſſe : cet exhauſſement, produit par les dépôts de gravier que la rivière ne peut plus charier parce qu'elle perd ſa force en s'étendant ſur une trop grande largeur, rendra le lit convexe & bombé vers ſon milieu ; il ſera donc plus bas vers les bords. Or (105 2°.), un courant tend toujours à s'établir aux endroits les plus bas : donc, *lorſqu'une rivière aura trop de largeur, elle ſe portera vers les bords.*

Les anciens donnoient toujours trop de largeur aux rivières.

224. Dans les ſiècles paſſés, on croyoit qu'il falloit donner à une rivière la plus grande largeur poſſible pour faciliter le paſſage des eaux. Il exiſte encore un concordat paſſé entre la France & la cour de Rome, qui porte qu'entre la ci-devant Provence & le ci-devant comté Venaiſſin, le lit de la Durance ne pourroit pas avoir moins de 300 toiſes de largeur. On avoit les mêmes idées ſur toutes les rivières, & l'on y rapportoit les ouvrages que l'on conſtruiſoit ſur ces mêmes rivières. C'eſt ainſi qu'à Digne on a conſtruit, ſur la rivière de Bléoune, un pont qui a trois fois plus d'ouverture qu'il ne lui en faut : auſſi, partout les rivières ont exhauſſé leur lit, & ſe ſont portées vers les bords, ainſi que nous venons de voir que la choſe devoit avoir lieu.

Quelle eſt la nature des bords d'une rivière.

225. Les bords ſur leſquels les rivières dont nous parlons ſe porteront, pourront être :

1°. En gravier ; 2°. en terre & gravier ; 3°. en terre ; 4°. en roches.

Ils ne ſeront qu'en gravier, lorſque le courant ſe renfermera dans le lit majeur (90) : car (154), dans ce cas, le lit n'eſt compoſé que de gravier.

Ils ſeront en terre & gravier, lorſque (155) le lit majeur ſera borné par des domaines gagnés aux dépens de la rivière : alors le gravier ſera deſſous, & la terre lui ſera ſuperpoſée.

Ils ſeront en terre ſans gravier au-deſſous, lorſque le lit de la rivière ſera borné par des domaines qui n'en auront jamais fait partie.

On doit dire la même choſe des bords en roches.

Dans les trois premiers cas, les bords ſeront plus ou moins corroſibles ; mais ils ne le ſeront aucunement dans le quatrième. Nous allons voir de quelle manière le courant agira ſur eux.

La corroſion d'une berge ſera en raiſon inverſe de l'angle d'obliquité du courant.

Fig. 15,

226. On ſent, au premier abord, que ſi le courant agit ſur une berge corroſible, cette berge ſera corrodée ; & que, pour cela, il eſt néceſſaire que le courant ſe porte ſur elle avec un certain degré d'obliquité. En effet, ſoit le courant ABCD (*fig.* 15.) qui ſe porte ſur la berge KH ſous l'angle oblique ABK ; repréſentons par EF la force d'un filet quelconque, & abaiſſons la perpendiculaire EG ſur la direction de la berge KH, la ligne GF exprimera l'action de chaque filet ſur les parties ſaillantes de la berge. Quant à EG, ſon action ne tend qu'à contenir ces mêmes parties, & ne peut pas contribuer à la dégradation de KH : d'où il eſt aiſé de conclure que, *toutes choſes d'ailleurs égales, le courant agira avec d'autant plus d'énergie pour détacher & entraîner les parties d'une berge corroſible, que l'angle d'obliquité EFG = ABK ſera moindre.*

L'expérience juſtifie cette aſſertion, qui, au premier coup-d'œil, paroît un paradoxe : car ce n'eſt jamais à l'endroit où la rivière choque un bord, que les grandes dégradations ont lieu ; mais en aval de cet endroit, & lorſque le courant s'eſt établi le long de ce même bord.

La corroſion d'une berge ſera en raiſon directe de la force du courant, & en raiſon inverſe de la tenacité des matières.

227. *Si le courant s'établit le long d'une berge, la corroſion ſera d'autant plus rapide que le courant aura plus de force, & que les parties de la berge auront moins de tenacité.*

Car 1°. plus le courant aura de force, plus il agira avec énergie ſur les parties ſaillantes.

2°. Moins les parties de la berge auront de tenacité, moins elles oppoſeront de réſiſtance à l'action du courant.

228. Donc, 1°. *Si le bord ſur lequel le courant agit n'eſt compoſé que de gravier, la corroſion ſera la plus rapide poſſible.* Car les galets du gravier n'ayant point de liaiſon entr'eux, & préſentant beaucoup de parties ſaillantes à l'action de l'eau, ils ſeront plus facilement détachés. Conſéquences qui en réſultent.

2°. *Les terreins gagnés ſur le lit des rivières, ſeront plus expoſés à être emportés.* Car (156) ces terreins portent ſur le gravier.

3°. *Quand même le gravier ſeroit à une très-grande profondeur ſous les domaines riverains, ils ſeront corrodés avec facilité par le courant.* Car ces domaines ont été originairement formés par des dépôts de limon qui eſt toujours plus ou moins mêlé de ſable: or, le ſable diminue l'adhéſion des parties.

4°. *Si les berges ſont compoſées de terres graſſes & viſqueuſes, telles, par exemple, que les terres argilleuſes, elles ſeront moins corrodées.* Car alors les parties qui les compoſent ayant plus d'adhéſion entr'elles, ſe détachent plus difficilement: il peut même arriver que la viſcoſité ſoit telle qu'elles ne ſoient pas entamées, & que le courant ne les endommage aucunement.

5°. *Si les berges ſont en roches ou revêtues de digues, elles ne ſeront point corrodées.* Car, dans ce cas, les parties qui les compoſent ont une adhéſion beaucoup plus forte que l'action du courant.

229. *Lorſque les bords ſeront corrodés, la corroſion formera une ligne courbe.* La corroſion des bords formera une ligne courbe.

Le courant ABCD tend (105 1°.) à ſe mouvoir ſuivant ſa direction primitive, & à prendre la poſition AB'C'D. Il entamera donc la berge KH, & agira ſur la partie poſtérieure pour ſuivre ſa direction AB'; mais il ſera détourné à chaque pas de Fig. 15.

ſa route, par la réaction des matières placées derrière KH; car ces matières céderont en partie; mais en cédant, elles obligeront le courant à changer de direction à chaque point de ſon cours. Or, lorſqu'un corps change à chaque inſtant de direction, il ſuit néceſſairement une ligne courbe: donc le courant ſuivra la courbe quelconque BMNH.

La concavité de la courbe de corroſion ſera en raiſon inverſe de la tenacité des matières. Fig. 15.

230. *La concavité de la courbe de corroſion ſera en raiſon inverſe de la tenacité des matières de la berge corrodée.*

Car (227) plus les matières auront de tenacité, plus elles oppoſeront de réſiſtance, & moins le courant s'enfoncera au-delà de BH. Au contraire, moins cette tenacité ſera grande, moins la réſiſtance ſera conſidérable, & moins le courant ſe détournera à chaque pas de ſa première direction, ou plus il s'enfoncera au-delà de la berge.

Conſéquences de cette propoſition.

231. Donc 1°. *la plus grande courbure aura lieu ſur le gravier.*

2°. *Cette courbure diminuera par degrés ſur la terre, l'argille, &c. ſuivant le degré de viſcoſité de chaque eſpèce de matière.*

3°. Elle s'anéantira ſur le rocher, les digues, &c.

Cela eſt évident par ce qui précède; & d'ailleurs la choſe eſt conforme à l'expérience, ainſi que chacun peut s'en aſſurer.

Le lit d'une rivière ſera corrodé & abaiſſé au pied d'une digue oblique & incorroſible. Fig. 15.

232. Suppoſons la berge oblique KH incorroſible: imaginons le courant ABCD décompoſé en une infinité de filets, tels que AB, *ab*, *cd*, *ef*, *&c.* Le premier filet arrivé au point B, trouvant ſur ſa route un obſtacle inſurmontable KH, s'établira le long de cet obſtacle (105 3°.); le ſecond filet *ab*, rencontrant le même obſtacle, preſſera le premier contre cet obſtacle & prendra la même direction; le troiſième *cd*, arrivé à l'obſtacle, preſſera pareillement les deux premiers, & ſuivra la même route qu'eux; & ainſi de ſuite juſqu'au dernier filet CD. Chaque filet preſſant donc les précédens contre l'obſtacle KH, le courant ſera forcé de s'établir le long de ce même obſtacle. Mais à raiſon de cette preſſion contre l'obſtacle, la largeur du

courant

courant établi le long de KH doit néceſſairement être moindre qu'en AD. Donc (217) *le courant ABCD ayant pris la poſition BCLH le long de la berge oblique & incorroſible KH, corrodera le fond & l'abaiſſera d'autant plus que la largeur de la rivière y ſera moindre.*

233. Par la corroſion dont nous venons de parler, il eſt viſible que le nouveau lit BCLH du courant le long de la berge oblique & incorroſible KH, deviendra l'endroit le plus bas. Or (105 2°.), le courant tend toujours à s'établir à l'endroit le plus bas: donc une berge oblique & incorroſible attirera le courant.

Donc une berge oblique & incorroſible attirera le courant.

234. Suppoſons que la berge dont nous venons de parler ſoit une digue: elle produira le même effet que cette berge; c'eſt-à-dire, *qu'elle attirera le courant & l'obligera à corroder le fond.* Dans ce cas, ſi la digue n'eſt pas établie au-deſſous de la corroſion qui s'opèrera, elle s'écroulera. La choſe eſt amplement vérifiée par l'expérience, ainſi que chacun peut s'en convaincre.

Une digue oblique produira le même effet.

235. Les barres de rocher qui bordent ſouvent le lit des rivières, produiſent auſſi le même effet; c'eſt-à-dire, qu'elles occaſionnent des affouillemens à leur baſe & attirent le courant: car il eſt rare que ces barres ne ſe préſentent obliquement à la direction des rivières. De-là vient le proverbe des nautonniers de rivière: *les roches attirent les eaux.* Ce n'eſt point les rochers qui les attirent, mais leur direction, ainſi que l'on peut le conclure de ce qui précède.

Raiſon du proverbe des nautonniers: *les roches attirent les eaux.*

236. Bien des gens prétendent que les berges obliques & incorroſibles, telles que les digues, réfléchiſſent le courant. C'eſt une erreur. Car la réflexion par le choc, ſuppoſe que le corps choquant ou le corps choqué ſoit élaſtique. Or ni l'eau ni les matières qui compoſent les berges, quelles qu'elles ſoient d'ailleurs, n'ont aucune eſpèce d'élaſticité. Donc *les berges obliques & incorroſibles ne réfléchiſſent pas le courant.*

Les berges obliques & incorroſibles ne réfléchiſſent pas le courant. Fig. 15.

D'ailleurs l'expérience eſt d'accord avec les principes. Qu'on parcoure toutes les digues & les autres obſtacles quelconques obliques à la direction du courant, on n'y rencontrera jamais de réflexion ; & s'il arrive que quelquefois le courant abandonne la berge, ce n'eſt qu'à raiſon de quelqu'obſtacle particulier qui ſe trouve en aval & qui occaſionne ce changement de direction.

Comment, d'autre part, une pareille réflexion ſeroit-elle poſſible? Les filets ſe preſſent continuellement les uns les autres contre la berge (232) & par-là s'oppoſent à cet effet, tandis que la pente du lit de la rivière, ſe trouvant dans le ſens de B vers H, le courant réfléchi ſeroit obligé de s'éloigner de l'endroit où cette pente eſt plus forte ; ce qui ſeroit contraire au principe établi au n. 105 2°.

Effets produits à l'extrêmité d'une digue oblique. Fig. 15.

237. Suppoſons encore que KH ſoit une digue. Le courant, après l'avoir parcouru dans ſa longueur, arrivé à ſon extrêmité H aura la liberté de s'étendre. Alors (194) ſa force diminuant, il y dépoſera les matières enlevées ſur BCLH (232). Ces dépôts apporteront ordinairement des changemens dans ſon cours : le courant ſuivra rarement ſa direction précédente, & il s'en écartera plus ou moins, d'un côté ou de l'autre, ſuivant les circonſtances & les localités ; quelquefois il ſemblera ſe réfléchir ; d'autrefois il contournera la digue & ſe jettera ſur la partie poſtérieure. Ce dernier cas aura lieu ſur-tout lorſque cette partie ſe trouvera ſenſiblement plus baſſe que le reſte du lit.

Tout cela eſt confirmé par l'expérience, ainſi que chacun peut s'en aſſurer.

Dans un lit trop large, une berge parallèle & incorroſible peut auſſi attirer le courant.

238. *Une berge incorroſible & parallèle à la direction du lit d'une rivière, peut auſſi, dans un lit trop large, attirer le courant.*

Car (223) un lit trop large portant le courant vers les bords, rend ces mêmes bords obliques à ſa direction. Or, alors la berge eſt dans le cas du n. 232.

239. La trop grande largeur du lit d'une rivière ne porte pas ſeulement le courant vers les bords, elle occaſionne encore la diviſion en pluſieurs branches. En effet, un lit trop large n'eſt jamais aſſez uni pour que, dans une grande crue, les eaux y aient par-tout la même profondeur. Dans ce cas il y aura, ou du moins il pourra y avoir pluſieurs endroits où le courant aura plus de force que dans les autres; alors il creuſera aux premiers & dépoſera aux ſeconds. La crue finie, les endroits corrodés peuvent l'être aſſez profondément pour qu'une partie des eaux de la branche-mère s'y détermine & ſe ſépare de la maſſe. Ainſi la trop grande largeur du lit eſt la première cauſe de la diviſion des rivières.

Première cauſe de la diviſion des rivières. La trop grande largeur du lit.

La Durance & toutes les rivières qui ont la liberté de s'étendre, nous en offrent des exemples ſans nombre.

240. *Les arbres arbriſſeaux &c. chariés par le courant, provoquent la diviſion.*

Deuxième cauſe de diviſion. Les arbres, arbriſſeaux, &c. chariés par le courant.

Car ces corps s'arrêtant dans le lit par quelque accident que ce ſoit, par exemple, lors de la baiſſe d'une crue, diminueront la vîteſſe du courant, arrêteront le ſable & le gravier, & formeront des iſles plus ou moins grandes ſuivant les circonſtances.

241. *Les dépôts qui s'arrêtent au bout d'une digue oblique* (237) *occaſionnent auſſi fort ſouvent la diviſion du courant.*

Troiſième cauſe de diviſion. Les dépôts qui ſe forment au bout d'une digue oblique.

Cet effet aura lieu, ſur-tout, ſi la partie poſtérieure de la digue eſt baſſe; car alors, dans une crue, les eaux s'extravaſant de tous côtés, ſe portent ſur-tout vers les endroits les plus bas (105 2°.). Or, dans ce cas, la partie ultérieure du lit & la partie poſtérieure de la digue ont l'une & l'autre beaucoup de pente. Donc il pourra arriver, comme il arrive fréquemment, que les eaux, après la crue, ſe partagent en cet endroit pour ſe porter partie d'un côté & partie de l'autre, ainſi que l'expérience le prouve.

Quatrième cauſe de diviſion. Les grandes crues.

242. *Les grandes crues diviſent pareillement la rivière en pluſieurs branches.*

La choſe arrive par les raiſons mentionnées au n. 239.

Cinquième cauſe de diviſion. Les trop fortes ſinuoſités. Fig. 16.

243. Soit la rivière ABDC (fig. 16) qui ſerpente dans le lit majeur ſinueux EBMHIKL, & qui tombe ſur la berge EBM en B. Suppoſons que cette berge ſoit aſſez baſſe pour être franchie par les eaux, dans une grande crue, la pente ſera plus forte ſuivant la droite DQ, que ſuivant la ligne ſinueuſe DNQ. D'ailleurs la ligne DQ s'approche plus de la direction primitive CD que la ligne DNQ. Donc (105 1°. 2°.) le courant s'y ouvrira un lit & s'établira en partie ſur BDMG. C'eſt ce qui arrive fréquemment aux rivières dont nous parlons.

Unique moyen de prévenir la diviſion des rivières.

244. *On préviendra la diviſion des rivières en réduiſant leur lit & en détruiſant les digues obliques.*

Car 1°. la réduction du lit obligera le courant à creuſer, augmentera ſa force & ne permettra ni à la rivière de s'extravaſer, ni aux dépôts de s'y former.

2°. Les digues obliques n'occaſionneront ni dépôts ni ricochets, & ne gêneront plus alors le cours des eaux en leur faiſant prendre des directions forcées.

Paſſons aux rivières dont le fond eſt de ſable & de limon.

CHAPITRE II.

Des Rivières à fond de ſable & de limon.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des rivières à fond de ſable & de limon.

245. C'EST par la comparaiſon que nous avons conſtamment faite de la force du courant avec la réſiſtance du fond que,

dans le chapitre précédent, nous avons déduit la théorie des rivières à fond de gravier. Il n'y a pas deux principes ſur cet objet, & le même nous donnera pareillement, ainſi qu'on va le voir, la théorie des rivières à fond de ſable & de limon.

Dans les rivières à fond de ſable & de limon, les lits majeur & mineur ſe confondent.

246. Les rivières dont nous parlons n'admettent point de différence entre le lit majeur & le lit mineur. Ces deux lits n'ont lieu que dans les rivières à fond de gravier, quand elles ont la liberté de s'étendre; au lieu qu'ils ſe confondent dans celles à fond de ſable & de limon, ainſi que l'expérience le prouve conſtamment.

Diſtinction entre le *lit naturel* & le *lit factice*.

247. Parmi ces rivières, les unes ont un *lit naturel* & les autres un *lit factice*. Le *lit naturel* eſt celui que la nature ſemble avoir creuſé, & dont les bords ne paroiſſent pas être des dépôts des eaux : tel eſt le lit de la Seine à Paris. Le *lit factice*, au contraire, eſt celui que la rivière s'eſt frayé, ſoit par elle-même, ſoit le plus ſouvent par le ſecours de l'homme, à travers les dépôts laiſſés par ſes eaux : tel eſt le lit du Rhône à Arles.

Les rivières à fond de ſable ont moins de pente que celles à fond de gravier.

248. Nous avons vu (176) que les matières du fond étoient plus ou moins groſſières ſuivant que le degré de pente étoit plus ou moins grand. Donc les rivières à fond de ſable auront moins de pente que celles à fond de gravier; ainſi que l'expérience le prouve.

Et celles à fond de limon en ont moins que celles à fond de ſable.

249. Donc auſſi, d'après le même principe, les rivières à fond de limon auront moins de pente que celles à fond de ſable. La choſe eſt prouvée d'ailleurs par l'expérience.

Uniformité de viteſſe dans les rivières à fond de ſable & de limon.

250. Nous avons dit (178) & nous avons vu (179), par la forme de la courbe aſſymptotique du fond, que la pente décroiſſoit continuellement en avançant vers l'embouchure. Donc l'accélération des eaux ſuperficielles, dont nous avons parlé au n. 195, y ſera toujours fort petite. Mais les eaux de la mer leur oppoſent une réſiſtance qui (103) ſe fait ſentir de proche en proche juſqu'à de très-grandes diſtances; &, d'autre part,

les eaux preſque dormantes, qui ſont aux environs des ſinuoſités, augmentent encore cette même réſiſtance. D'où il réſulte que cette double réaction détruit ordinairement l'effet de l'accélération. Par conſéquent *les rivières à fond de ſable ou de limon doivent en général avoir une vîteſſe uniforme ;* & c'eſt ce que l'expérience juſtifie.

A l'embouchure le fond ne ſera qu'un limon.

251. La plus grande réſiſtance ayant lieu à l'embouchure, dans la mer, ce ſera en cet endroit que la vîteſſe & la force du courant ſeront les moindres poſſibles. D'où il réſulte qu'*à l'embouchure* (173) *la pente ſera la moindre poſſible, & que le fond n'y ſera que de limon*, ainſi que l'expérience le prouve à l'embouchure de tous les fleuves.

Un fond de ſable & de limon eſt moins variable qu'un fond de gravier.

252. *Un fond de ſable & de limon eſt moins variable qu'un fond de gravier.*

Car un fond de ſable & de limon ſuppoſe (173) moins de force dans le courant. Or, les cauſes ſont toujours en proportion avec les effets qu'elles produiſent.

Dans les crues, la vîteſſe eſt plus forte à l'embouchure, qu'en amont.

253. Quoique (251) la vîteſſe du courant ſoit, en général, moindre à l'embouchure que par-tout ailleurs, il y a néanmoins un cas où elle eſt plus grande en cet endroit qu'en amont : ce cas eſt celui des fortes crues. On ſent qu'alors les eaux ſuperficielles, étant ſupérieures au niveau de celles de la mer, auront la liberté d'obéir à l'accélération de cet excès de pente, ſans éprouver une grande réſiſtance de la part de ces dernières. Ce qui prouve la choſe, c'eſt que, tant ſur le Pô que ſur le Rhône, plus on avance vers l'embouchure, plus la hauteur des chauſſées, deſtinées à contenir les eaux des crues, diminue.

§. II.

De l'action des Eaux ſur le fond en ſable & limon.

Dans ces rivières il n'y aura point de gouffre d'équilibre.

254. Nous avons vu (196) que les rivières à fond de gravier creuſoient des gouffres par intervalles, & que ces gouffres étoient

produits par l'accélération des eaux de la ſuperficie (195). Or (250), les rivières à fond de ſable & de limon, ont, en général, une vîteſſe uniforme, & par conſéquent il n'y a point d'accélération à la ſurface. Donc, dans *les rivières à fond de ſable ou de limon il ne ſe creuſera point de gouffre.*

Pour s'en convaincre, par expérience, on n'a qu'à parcourir toutes les rivières en pays en plaine, & dont par conſéquent (160 2°.) le fond n'eſt qu'en ſable ou limon ; on n'y remarquera jamais aucuns des gouffres mentionnés au n. 166 & qu'on rencontre à chaque pas ſur les rivières à fond de gravier. La Seine à Paris nous en fournit un exemple.

La groſſièreté des matières du fond étant conſtante, la peute diminuera quand le volume d'eau augmentera.

255. Dans les rivières à fond de gravier, *ſi le volume d'eau augmente & que la groſſièreté des matières du fond ſoit conſtante, la pente diminue* (190).

Il eſt viſible que la choſe aura pareillement lieu, & pour les mêmes raiſons, dans les rivières à fond de ſable ou de limon. Car le degré de groſſièreté des matières du fond n'eſt pas ſpécifié.

Conſéquences qui en réſultent dans le cas des rétréciſſemens.

256. Il ſuit de-là, que tout ce que nous avons dit (192, 209, 221) au ſujet des effets produits par les rétréciſſemens des lits de rivières à fond de gravier, s'applique littéralement aux rivières à fond de ſable & de limon. D'où nous conclurons que, dans ces dernières rivières, ſi l'on rétrécit le lit à un endroit déterminé,

1°. *Le fond baiſſera en amont & en aval du rétréciſſement, par la corroſion.*

2°. *La profondeur de la corroſion ſera ſenſiblement en raiſon inverſe de la largeur du lit.*

Par des rétréciſſemens partiels, on forcera ces rivières à baiſſer leur lit.

257. Il s'enſuit pareillement, que dans ces rivières, *pour baiſſer le lit ſur une étendue déterminée, on n'a beſoin que de les reſſerrer par intervalles, & qu'il eſt inutile d'y employer des ouvrages continus* (220).

La groſſièreté des matières du fond étant conſtante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera.

258. On doit encore appliquer à ces rivières ce que nous avons dit (193 & 194) au ſujet des effets produits par la diminution des eaux, puiſque le degré de groſſièreté des matières du fond eſt indéterminé. Donc, dans les rivières dont nous parlons, *ſi le volume d'eau diminue, la groſſièreté des matières du fond reſtant la même, la pente augmentera.*

Conſéquences qui en réſultent.

259. De-là il ſuit 1°. *que ſi l'on ſaigne une rivière de la nature de celles dont nous traitons, la pente augmentera.*

2°. *Que ſi la pente eſt conſtante, la vîteſſe diminuera.*

3°. *Que ſi une rivière eſt trop large, ſa pente augmentera.*

4°. *Qu'une rivière trop large exhauſſera ſon lit.*

Les démonſtrations en ſont abſolument les mêmes qu'aux n^os^. cités

§. III.

Des variations des rivières à fond de ſable & de limon, & de leur action ſur les bords.

Si le lit s'exhauſſe inégalement par des dépôts, le courant ſe portera à l'endroit le plus bas.

260. Nous venons de dire (259 4°.) que ſi le lit eſt trop large, il s'exhauſſera. Dans ce cas, ſi l'exhauſſement eſt uniforme d'un bord à l'autre, le courant ne variera pas; car ces rivières n'ayant pas de lit majeur, les bords ne ſeront pas alors, comme dans celles à fond de gravier, plus bas que le lit, & par conſéquent cet exhauſſement ne porteroit pas les eaux ſur les berges. Mais ſi par quelque cauſe que ce ſoit, l'exhauſſement eſt irrégulier, le courant s'établira à l'endroit le plus bas & où l'exhauſſement ſera moindre. Car (105 2°.) les eaux ſe portent toujours aux endroits les plus bas.

Formation des îles dans le lit de ces rivières.

261. A meſure qu'un dépôt commencera à ſe former dans le lit de la rivière, le courant en cet endroit y devenant moins profond, & par-là même ſa force y diminuant, le dépôt s'élèvera toujours plus, juſqu'à ce qu'il paroiſſe à la ſuperficie des eaux:

eaux : alors il formera une île dans le lit, & cette île ſera permanente : car puiſque le courant n'a pas eu aſſez de force pour la détruire dans ſon principe, on ſent bien, qu'à plus forte raiſon, il ne pourra pas l'anéantir, lorſqu'elle aura reçu tous ſes accroiſſemens.

La Loire & la Seine nous en offrent des exemples ſans fin. Toutes les îles dont leurs lits ſont parſemés, ne ſont dues qu'à leur trop grande largeur primitive ; & l'on ne voit pas qu'aucune de ces îles ſoit détruite par l'action des eaux, comme le ſont journellement celles qui ſont formées par les rivières à fond de gravier.

Ces îles ſont nuiſibles à la navigation.

262. Il paroît, d'après cela, que, lorſque ces rivières ont trop de largeur, elles ſe réduiſent, comme d'elles-mêmes, en formant des îles dans leur ſein. Mais, en formant ces îles, elles ſe partagent en diverſes branches. Toutes ces branches réunies formeroient un volume d'eau qui auroit plus de largeur & plus de profondeur que celui de chaque branche priſe en particulier ; & il eſt viſible que la navigation y gagneroit, au lieu qu'elle perd néceſſairement par la diviſion. C'eſt pour cette raiſon qu'il eſt eſſentiel, dans ces rivières, de provoquer la deſtruction des dépôts, à meſure qu'ils ſe manifeſtent, & d'employer pour cela les rétréciſſemens, puiſque les dépôts ne proviennent que des excès de largeur.

Le courant eſt ordinairement au milieu du lit naturel.

263. Dans les rivières à fond de ſable & de limon, le courant eſt ordinairement au milieu. C'eſt pour cette raiſon, qu'étant particulièrement affectées à la navigation, on recommande de donner un nombre impair d'arches aux ponts qu'on y conſtruit, à cauſe qu'alors le courant donnera dans le vuide de l'arche du milieu ; au lieu qu'il donneroit ſur le plein d'une pile, ſi le nombre d'arches étoit pair. Il eſt rare que le courant quitte le milieu, dans les rivières à lit naturel, comme la Seine ; mais la choſe eſt moins rare dans les rivières à lit factice, comme le Rhône, à la hauteur d'Arles. Dans le premier

Quelquefois il s'en écarte dans un lit factice.

cas, c'eſt la nature elle-même qui a établi les bords, & par conſéquent c'eſt la nature qui contient la rivière au fond de la vallée qu'elle lui a aſſignée : dans le ſecond cas, au contraire, les bords ne ſont que des dépôts que la rivière a laiſſés en ſe retirant. Or, la cauſe qui l'a obligée à ſe retirer, peut auſſi la forcer à s'approcher de nouveau des dépôts qui bornent ſon lit. En effet, ces anciens dépôts ſe ſont formés, dans l'origine, par quelque obſtacle qui s'eſt arrêté dans le lit primitif : or, ſi quelque nouvel obſtacle pareil s'arrête dans le lit actuel, il eſt viſible qu'il s'y formera un atterriſſement qui portera le courant ſur la berge.

Conſidérations ſur la corroſion des berges.

264. Si le courant s'établit le long d'une berge corroſible, il y aura corroſion, & cette corroſion formera une courbe concave, ainſi que dans les rivières à fond de gravier; mais la concavité n'en ſera pas auſſi forte ni auſſi rapide : car, 1°. il n'y a point de gravier au-deſſous des berges, qui ne ſont dans ce cas qu'en terre; 2°. la terre qui les compoſe eſt moins mêlée de ſable, & a par-là plus de tenacité; 3°. le courant a moins de vîteſſe & moins de force. Ainſi, pour toutes ces raiſons, la courbe qui réſulte de la corroſion des berges factices des rivières à fond de ſable & de limon, aura moins de concavité & ſe formera plus lentement, que dans les rivières à fond de gravier.

On a la preuve de ce que nous diſons, dans la comparaiſon des corroſions de la Durance & du Rhône, dans le terroir d'Arles.

265. Tout ce que nous venons de dire au §. III du chapitre précédent, au ſujet de l'effet que produiſent les digues obliques ſur les rivières à fond de gravier, s'applique également aux rivières à fond de ſable & de limon; car on a pu voir que la nature des matières du fond n'y entre pour rien.

Venons à préſent aux cauſes qui occaſionnent des diviſions dans ces rivières.

266. Nous avons déjà vu (261) qu'un lit trop large permettoit aux dépôts de s'arrêter & de former des îles. Ainſi, *la trop grande largeur dans les rivières dont nous parlons, eſt la première cauſe de leur diviſion en pluſieurs branches.*

Les cauſes de diviſion ſont les mêmes pour ces rivières & pour celles à fond de gravier.

267. Les arbres, arbriſſeaux, &c. qui s'arrêtent dans le lit, ſont la ſeconde cauſe de la diviſion.

La démonſtration en eſt la même que celle que nous avons donné au n. 240; obſervant néanmoins que ces arbres, arbriſſeaux, &c. n'arrêtent ici que des ſables & du limon.

268. *Une digue oblique peut auſſi opérer la diviſion du courant.*

La démonſtration en eſt la même qu'au n. 241. Cependant nous obſerverons que ce cas n'eſt pas commun.

269. *Si, dans les crues, la rivière, franchiſſant les bords, rencontre un endroit où il y ait plus de pente, elle ſe diviſera.*

On peut voir le raiſonnement que nous avons fait à ce ſujet, au n. 243.

C'eſt ainſi, qu'en 1711, la plus grande partie des eaux du Rhône abandonna le lit appellé *bras de fer*, pour ſe jetter dans le canal des Lônes, comme nous l'avons dit au n. 182.

§. IV.

De l'embouchure des rivières dans la mer.

270. Nous avons déja dit (11) que les rivières charient, à la mer, les terres que les pluies entraînent; que ces matières étoient pouſſées par les rivières & repouſſées par la mer; & qu'enfin elles s'arrêtoient là où il y avoit équilibre entre ces deux forces, pour former des barres ou des îles ſuivant les circonſtances ou les localités. Nous pouvons dire ici, *qu'en général, les barres ſe forment dans l'Océan & les îles dans la Méditerranée.*

A l'embouchure des rivières il ſe forme des barres dans l'Océan, & des îles dans la Méditerranée.

Car, 1°. dans l'Océan, la haute marée arrête les eaux de la rivière & les oblige à s'élever juſqu'à la marée deſcendante;

alors ces eaux, ainſi accumulées, jointes à celles de la mer qui ſe retirent, font, à l'égard des dépôts, les fonctions d'une écluſe de chaſſe, & entraînent les matières étrangères juſqu'à une certaine diſtance dans l'intérieur de la mer, ou, enfin, elles forment des barres toujours ſujettes aux variations du flux & reflux & qui rarement s'élèvent juſqu'à la ſuperficie des eaux.

2°. Dans la Méditerranée, au contraire, comme il n'y a point de marée, ces matières ne pouvant pas être pouſſées comme par une écluſe de chaſſe, s'arrêtent plus près de la côte où elles s'amoncelent, juſqu'à ce qu'elles paroiſſent à la ſurface des eaux : alors elles forment des îles.

L'expérience prouve ce que nous diſons. Qu'on jette les yeux ſur la Seine, la Loire, la Gironde & l'Adour, rarement on y trouvera des îles, mais ſeulement des barres; au lieu que dans le Rhône il ſe manifeſte journellement quelqu'île.

Les îles dans la Méditerranée, prolongent le lit dans la mer & augmentent le Continent.

271. *Les îles qui ſe forment dans la Méditerranée, ſe lient bientôt au Continent & le prolongent dans la mer.* Car les eaux qui ſéparent ces îles de la terre ferme, ſont à l'abri des vagues & des courans, & permettent plus facilement les dépôts.

L'obſervation nous fournit les preuves les plus convaincantes de cette aſſertion. Arles, la plus ancienne ville de cette partie des Gaules, fut bâtie ſur un rocher à l'embouchure même du Rhône; & l'on croit communément que le clocher des Minimes étoit un phare. Ce qu'il y a de bien certain, c'eſt que ce clocher eſt de toute antiquité, & qu'il a réellement la forme d'un phare. Cependant aujourd'hui Arles eſt à environ 22,000 toiſes de l'embouchure du fleuve.

L'hiſtoire nous apprend que Louis IX s'embarqua à Aigues-Mortes, pour l'expédition des Croiſades. Aujourd'hui néanmoins Aigues-Mortes eſt à environ 4000 toiſes loin de la côte.

Nous avons déjà obſervé (11) que depuis 1711, le Rhône a porté ſon embouchure à environ 3000 toiſes au-delà de la tour Saint-Louis.

Cicéron nous apprend, dans ſes lettres, que, de ſon tems, le port de Fréjus, dont on voit encore les reſtes, étoit en exercice. Aujourd'hui cette ville eſt à plus de 500 toiſes loin de la mer par les dépôts de la rivière d'Argens.

272. *L'embouchure des rivières dans la Méditerranée doit y former des plages dangereuſes.*

L'embouchure dans la Méditerranée produit des plages dangereuſes.

Car les dépôts, avant de paroître à la ſurface de l'eau, forment, çà & là, une multitude d'écueils auxquels il eſt très-dangereux de toucher.

Le golfe de Lyon nous en offre un exemple bien remarquable.

273. *A meſure que le lit ſe prolonge, le fond doit s'exhauſſer en amont.* Soient AB (*fig.* 17.) la ſurface de la mer, A l'embouchure d'une rivière, & AC la ligne de fond de ſon lit. Suppoſons que le lit ſe prolonge de A en D, le volume d'eau & la groſſièreté des matières de fond reſtant les mêmes, la pente doit être auſſi la même : car on a vu au §. Ier. du chapitre premier, qu'il n'y avoit pas d'autres élémens que la maſſe, la pente & la groſſièreté des matières, pour déterminer la poſition & les variations du lit. Tirons du point D la ligne DE parallèle à AC, elle ſera le fond du nouveau lit : mais DE eſt ſupérieure à AC ; donc le lit s'exhauſſera.

Lorſque le lit ſe prolonge dans la mer, le fond en amont doit s'exhauſſer. Fig. 17.

274. Il ſuit de-là que *ſi les domaines adjacens ne s'exhauſſent pas à proportion, ils ſe convertiront en marais.*

Dans ce cas, ſi les domaines riverains ne s'exhauſſent pas, ils ſe convertiront en marais.

Car ces domaines éprouveront des filtrations de la part du fleuve dont les eaux ſeront ſupérieures ; d'ailleurs, quand même les filtrations n'auroient pas lieu, les ſeules eaux pluviales les inonderoient. Or, ces eaux ne pourroient pas s'écouler dans le fleuve, à cauſe que ſon lit eſt ſuppoſé trop élevé ; elles ne pourront s'écouler dans la mer, qu'en prenant un dégré de pente d'autant plus grand, que leur volume ſera moindre (177) : donc elles ſeront obligées de s'enfler en amont, & par conſéquent d'inonder le pays.

Les marais augmenteront à proportion que la mer se retirera.

275. *Les marais augmenteront d'autant plus, que la mer s'éloignera davantage.*

Car plus la mer s'éloignera, plus le cours du canal d'évacuation sera long. Donc (273) plus le lit s'exhaussera en amont & plus l'étendue du terrein inondé sera grande.

Les marais de la contrée d'Arles justifient cette assertion. On voit dans la partie de ces marais, qui se trouve dans le terrein des Baux, un ancien édifice appellé le *Monestier*, corruptif de *monastère*. Cet édifice a été certainement construit à sec; aujourd'hui, néanmoins, il est bien-avant dans l'intérieur des marais. Donc les marais se sont accrus depuis que la mer s'est retirée.

Moyen d'empêcher que les domaines riverains ne se convertissent en marais.

276. Il n'y auroit qu'un seul moyen d'empêcher cet effet; ce seroit d'exhausser le terrein à mesure & à proportion de la retraite de la mer. La manière la plus naturelle d'opérer cet exhaussement, seroit d'arroser le pays avec un canal alimenté par des eaux troubles: car, dans ce cas, à chaque irrigation, les eaux déposeroient une couche de limon qui insensiblement élèveroit le sol. Mais, d'un autre côté, les arrosages exigent des égoûts. Dans ces terreins, les canaux, servant d'égoût, auroient peu de pente, & les eaux y prendroient peu de vîtesse; elles déposeroient donc dans ces canaux & les encombreroient continuellement. Ainsi le plus sûr seroit d'évacuer les eaux des marais, sans pente, ou du moins avec la moindre pente possible. C'est ce que nous verrons dans notre traité des canaux d'arrosage.

SECTION IV.

Des Torrens-Rivières.

277. IL nous reſte peu de choſe à dire ſur les torrens-rivières, puiſque tout ce que nous venons de dire juſqu'ici ſur les torrens & les rivières, s'y appliquent exactement, à la réſerve de quelques propoſitions qui ont beſoin d'être modifiées. Mais avant d'expoſer ces propoſitions, ne perdons pas de vue ce que nous avons dit au n. 165, ſavoir, que c'eſt par le plus ou moins de régularité des galets, qu'on diſtingue ſi le torrent-rivière approche plus ou moins du torrent ou de la rivière.

278. *Le gravier eſt plus groſſier dans ces torrens-rivières que dans la rivière qui le reçoit.*

Le gravier du torrent-rivière eſt plus groſſier que celui de la rivière qui le reçoit.

Car les galets s'atténuent pour s'arrondir; donc puiſqu'ils ſont arrondis dans la rivière & qu'ils ne le ſont pas encore parfaitement dans le torrent-rivière, ils ſont plus groſſiers dans le torrent-rivière que dans la rivière.

279. *Le volume d'eau du torrent-rivière eſt moindre que celui de la rivière qui le reçoit.*

Son volume d'eau eſt moindre que celui de la rivière qui le reçoit.

La forme régulière & arrondie des galets, indique (165) que le cours de la rivière eſt plus long que celui du torrent-rivière, mais (58) le volume d'eau eſt comme le pays arroſé, ou comme la longueur du cours; donc le torrent-rivière aura moins d'eau que la rivière dans laquelle il s'évacue.

280. Il ſuit de ces deux propoſitions, que *le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit.*

Donc le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit.

Car, (176 & 177) la pente ſera d'autant plus conſidérable, que les matières ſeront plus groſſières, & que le volume d'eau ſera moindre, or les matières ſont plus groſſières & le

volume d'eau eſt moindre dans le torrent-rivière que dans la rivière qui le reçoit.

Réflexions ſur les gouffres d'équilibre des torrens-rivières.

Nous avons vu (196) que dans les rivières, l'équilibre exige qu'à des intervalles déterminés il ſe creuſe des gouffres; cette propriété aura lieu dans la rivière qui reçoit le terrent-rivière; elle aura encore lieu aux endroits où le torrent-rivière approchera de la nature de la rivière, à cauſe que dans ces en[illegible] différence entre ces deux courans n'eſt qu'une nu[illegible]ne devient bien ſenſible qu'à une certaine diſtai[illegible]ontant, c'eſt-à-dire, qu'en ces endroits la durée [illegible]uilibre y ſera ſenſiblement telle qu'elle eſt re-[illegible]quilibre entre leur force et la réſiſtance du lit [illegible]lais en s'approchant davantage de la ſource du [illegible]e, la durée tant des crues que des eaux d'équi-libr[illegible]ant ſans ceſſe, (50, 60 & 63.) le lit n'aura pas le t[illegible]e mettre en équilibre avec la force des eaux, & [illegible]qu'on y appercevra dépendront bien plus des circo[illegible]ulières que d'une loi fixe, & cela d'autant plus q[illegible]approchera davantage du torrent générateur. On doit dire la même choſe des autres propriétés des gouffres [illegible]nous avons détaillées aux n. 198 & 202.

Réflexi[illegible]l'exhauſſemer[illegible]l'abaiſſement de leur lit.

281. L'exhauſſement & l'abaiſſement des torrens-rivières auront lieu dans les mêmes cas que ceux qui regardent les rivières & qui ſont détaillés au Chapitre I de cette partie; mais il y aura cette différence: ſavoir, que les progrès ſeront plus rapides dans l'exhauſſement, & plus lents dans l'abaiſſement du lit des torrens-rivières à meſure qu'on s'approchera davantage de la ſource.

Car, plus on s'approchera de la ſource, plus les crues ſeront courtes, & moins le courant ſera en état d'entraîner les matériaux; donc, dans le premier cas, le gravier s'amoncelera plus rapidement, & dans le ſecond, il ſera entraîné plus difficilement.

282. *Si le lit d'un torrent-rivière eſt trop large, le courant en pourra ſortir pour ſe répandre ſur les domaines riverains qui ont été gagnés à ſes dépens.*

Si le lit eſt trop large, le torrent-rivière pourra l'abandonner.

En effet le lit s'exhauſſant alors rapidement, les domaines riverains deviendront bientôt inférieurs : & puiſqu'en général, lorſque le lit eſt trop large, le courant ſe porte ſur les berges (223), s'il ſurvient quelque obſtacle qui gêne ſon cours, il doit ſortir de ſon lit primitif, & ſe jetter ſur le[illegible]nes riverains (105 2°.). Mais la courte durée des crues [illegible]ſé-ment des dépôts de gravier, & permet ſouvent [illegible]tes entraînés, & à d'autres matières étrangères, [illegible] milieu du lit, & de gêner le courant. Donc, a[illegible] rivière doit ſortir de ſon lit pour ſe répandre ſu[illegible] adjacens qu'il couvrira de gravier.

C'eſt ce qui eſt prouvé par une infinité d'obſerv[illegible]

283. Il réſulte de-là, qu'il y a cette diffé[illegible]ar-quable entre les torrens-rivières, & les rivi[illegible]ent dites, dont le lit a été rétréci par les domaines [illegible] : c'eſt que les torrens-rivières peuvent faire des [illegible]es do-maines, & même s'y établir bruſquement, en abandonnant leur lit primitif; au lieu que dans les rivières, le lit majeur s'exhauſſant pas auſſi rapidement (281), les crues y étant plus longues (63), & le courant reſſerré par la berge contre laquelle il ſe porte (223), ayant aſſez de force pour déblayer le lit mineur, & l'approfondir en corrodant le fond (228 & 232), il n'arrivera rien de pareil; mais ſeulement le lit majeur s'étendra par la corroſion des berges, lorſqu'elles ſeront corroſibles (228), & le courant ne laiſſera jamais rien derrière lui : il faut néanmoins en excepter le cas mentionné au n. 243.

Différence remarquable entre les rivières & les torrens-rivières.

284. Au reſte, les torrens-rivières participant à la nature des torrens & des rivières, & cela plus ou moins, ſelon qu'ils s'approchent ou s'éloignent du torrent générateur, ou du point où ils ſont réellement rivières, leur théorie tiendra plus ou moins

de celle du torrent ou de la rivière, ſuivant les localités : car on ſent bien qu'il y a des nuances à l'infini ; par conſéquent, c'eſt à ces diverſes nuances qu'on aura égard dans les travaux qu'on y exécutera.

SECTION V.

Des Confluens.

§. I.

Obſervations générales ſur les Confluens.

La ſolution du problême ſur la direction de la réſultante de deux courans qui ſe réuniſſent, eſt inadmiſſible dans la pratique.

285. LORSQUE deux courans ſe joignent pour n'en former qu'un ſeul, ils agiſſent ordinairement l'un ſur l'autre, ſuivant leur force & leur direction. En conſéquence, pluſieurs auteurs reſpectables par leurs connoiſſances, ont propoſé, pour problême, de *déterminer, d'après ces données, la direction de la réſultante des deux courans réunis.* Il eſt certain que la ſolution qu'ils en donnent ſeroit très-exacte & parfaitement conforme au réſultat, ſi les deux courans ſe joignoient ſur un milieu d'une réſiſtance homogêne & extrêmement petite, par exemple, ſur la ſurface des eaux de la mer ; mais dans l'état naturel, cette réunion des courans ne s'opère pas ainſi. La diverſité des pentes & des matières qui compoſent, ſoit le fond de leurs lits, ſoit les bords au-deſſous du confluent, produiſent des variations à l'infini dans les réſultats. Ainſi, à cet égard, nous ne pouvons dire autre choſe, ſinon que *le courant le plus fort influe plus ou moins ſur le plus foible, ſuivant les circonſtances & les localités.* Dans la pratique, ce ſont ces deux objets qu'il faut conſulter, & même on peut être aſſuré, que dans tous les cas on n'obtiendra, que des *à-peu-près.*

286. *En général, le courant le plus fort s'oppoſe plus ou moins à l'admiſſion du plus foible.*

Le courant le plus fort s'oppoſera plus ou moins à l'admiſſion du plus foible.

Soient AB (fig. 18) un filet quelconque du courant le plus fort & CD un ſemblable filet du courant le plus foible : ſuppoſons-les compoſés, l'un & l'autre, d'une infinité de globules placés à la ſuite les uns des autres. Pour que le ſecond courant puiſſe s'incorporer dans le premier, il faut que les globules de CD puiſſent s'intercaler entre les globules de AB. Or plus le premier courant aura de force, plus il aura de vîteſſe & plus les globules de AB ſeront preſſés les uns contre les autres : donc, auſſi, plus alors les globules de CD auront de difficulté à s'intercaler parmi les globules de AB ; ce qui eſt parfaitement conforme à l'expérience. Fig. 18.

287. Comme dans l'état naturel il eſt rare que deux courans qui ſe réuniſſent aient l'un & l'autre le même degré de force, il ſuit, de ce que nous venons de dire, que, dans ce cas, *ſi le courant le plus foible n'a pas ſenſiblement plus de pente, il ſera obligé de s'enfler pour entrer dans le plus fort.*

Le courant le plus foible ſera ſouvent obligé de s'enfler pour entrer dans le plus fort.

Car les eaux ſupérieures, s'élevant, preſſeront davantage les eaux inférieures (91) & leur donneront aſſez d'intenſité pour forcer la réſiſtance du courant le plus fort : d'ailleurs ces mêmes eaux, en s'élevant, pourront auſſi s'évacuer en partie ſur la ſurface du même courant.

288. *Les eaux du courant le plus foible étant obligées de s'enfler & de s'élever, il arrivera ſouvent que ce courant ſe diviſera en pluſieurs branches.*

Dans ce cas, le courant le plus foible ſe diviſera ſouvent en pluſieurs branches.

Car ces eaux ne peuvent s'enfler ſans inonder tout ce qui ſera au deſſous du niveau de leur ſuperficie ; elles ſe répandront donc dans leur lit majeur par-tout où le niveau pourra les porter. Or il eſt preſqu'impoſſible que, dans la largeur du lit majeur, pour peu conſidérable qu'elle ſoit, il ne s'y trouve divers endroits plus bas les uns que les autres. Donc (105, 2°.)

il ſe formera, dans ces endroits, des branches particulières ; & c'eſt ce que l'expérience journalière confirme.

La ſection de deux courans réunis, eſt moindre que la ſomme de leurs ſections avant la réunion. Fig. 19.

289. Soient ABC & DEF (fig 19) les ſections des deux courans avant leur réunion, & GHK la ſection commune aux deux courans réunis. Si la vîteſſe moyenne étoit la même avant & après la réunion, il eſt viſible que la ſection GHK ſeroit égale à la ſomme des deux autres; mais (101) c'eſt la réſiſtance du fond qui modifie la force accélérative, & (171) cette réſiſtance eſt, toutes choſes d'ailleurs égales, proportionnelle au pourtour GHK, tandis que le volume d'eau ſuit la raiſon de la ſurface de la ſection ou du carré du pourtour GHK. Donc, puiſque la maſſe d'eau & par conſéquent ſa force augmente dans un plus grand rapport que la réſiſtance, la force accélérative (195), après la réunion, ſera plus grande & la vîteſſe augmentera. Par conſéquent la ſection GHK ſera moindre que la ſomme des deux ſections ABC, DEF. Donc *la ſection de deux courans réunis eſt moindre que la ſomme de leurs ſections avant la réunion.*

La choſe eſt prouvée par l'expérience: car on voit à chaque pas des courans ſe jetter dans de plus grands ſans augmenter ſenſiblement les dimenſions de leur lit. Cela doit nous faire admirer, toujours de plus en plus, la ſageſſe de la providence: car ſi la ſection d'une rivière devoit conſtamment être égale à la ſomme des ſections de tous les affluens lorſque, dans les crues, elle ſeroit arrivée à une certaine diſtance de la ſource, peu de plaines ſeroient à l'abri de ſes inondations. Heureuſement le Créateur y a obvié en établiſſant des loix qui augmentent la vîteſſe à proportion.

§. II.

Du Confluent de deux Torrens.

Les variations au confluent de deux

290. Lorſqu'un torrent ſe jettera dans un autre, ſur le pen-

chant même de la montagne où ils ſe forment, le plus fort pouſſera le plus foible ſur le côté oppoſé, qui pour lors ſera corrodé. Mais cette corroſion portant ſur le flanc de la montagne, fera peu de progrès, & ſe bornera à occaſioner une légère déviation au-delà de laquelle le torrent récipient reprendra ſon cours. Ainſi, nous pouvons dire qu'*en général les variations ou confluens de deux torrens ſur la montagne où ils ſe forment, ſeront peu conſidérables.*

torrens ſur le penchant d'une montagne, ſeront peu conſidérables.

291. Mais il n'en eſt pas de même de la réunion des torrens au bas des montagnes & dans les plaines. Dans ce cas, toutes choſes d'ailleurs égales, celui qui a le plus de pente agit ſur l'autre, & en détermine la direction (286): il peut même arriver que les directions étant peu concourantes, le plus fort obſtrue le lit du plus foible. Alors, on doit s'attendre aux effets les plus pernicieux; car (136) les torrens étant aſſez généralement ſupérieurs aux plaines adjacentes, il arrivera (134) que le torrent obſtrué ſe jettera ſur les domaines riverains (105 2°.), & qu'il les couvrira de gravier.

Les directions des torrens dans les plaines, doivent concourir le plus poſſible.

D'où l'on doit conclure, qu'en général *on doit donner aux torrens dans les plaines, les directions les plus concourantes poſſibles.*

§. III.

Du Confluent d'un Torrent & d'une Rivière ou d'un Torrent-Rivière.

292. *Le lit de la rivière ſera rétréci par le torrent.*

Le lit de la rivière ſera rétréci par le torrent.

Car dans les crues d'orage, le torrent entraînera une quantité de matières d'autant plus conſidérable que ſon cours ſera plus étendu. Ces matières affluant dans la rivière, formeront, à l'embouchure du torrent, une eſpèce de digue qui jettera le courant ſur le côté oppoſé. Ce courant ainſi rétréci creuſera ſur

ce côté (212) & le rendra plus bas que la partie reſtante du lit. Donc (105 2°.) il s'y fixera. Il eſt vrai que ces matières ſeront déblayées par le courant; mais ce ne ſera qu'en partie, à cauſe que le fort du courant ſera établi du côté oppoſé, comme nous venons de le dire.

Les dépôts d'un torrent peuvent totalement barrer le lit d'une rivière. Fig. 5.

293. *Les dépôts d'un torrent peuvent totalement barrer le lit d'une rivière.*

Suppoſons pour cela, qu'au confluent, le lit de la rivière ſoit reſſerré par des montagnes, de manière qu'il n'y ait pas de lit majeur, ou que le torrent ſoit tel que la longueur de ſon cours KC (fig. 5), depuis la chûte K, au bas de la montagne juſqu'à la rivière, ſoit extrêmement courte ou nulle, ce qui aura lieu au commencement de la formation d'un torrent, ou lorſque la montagne ſera entièrement en rocher (130): s'il ſurvient un orage ſur cette montagne excluſivement, les matières, que le torrent chariera, peuvent être aſſez volumineuſes pour barrer totalement le paſſage de la rivière par une eſpèce de jettée; dans ce cas, la rivière formera, en amont, un étang momentané dans lequel ſes eaux s'élèveront juſqu'à ce qu'elles aient atteint la crête de cette jettée. Alors elles s'écouleront d'abord par-deſſus, & enſuite elles la couperont ainſi que nous l'avons dit (116).

Cet effet n'eſt pas rare dans les pays des montagnes. Nous en avons été pluſieurs fois temoins ſur la rivière d'Iſſolle, priſe dans le terrein de Troins, entre Saint-André & Thorame-Baſſe, dans le département des Baſſes-Alpes. En cet endroit, la rivière y eſt aſſez fréquemment barrée par les dépôts d'un torrent connu ſous le nom de *torrent de Pré Chabanat*, qui deſcend de la montagne de *Maurel*, entre la Mure & Argens. Bien des gens ont vu la même choſe arriver ſur le Verdon, près de Thorame-Haute, dans le même département.

Ce qui arrivera lorſque le lit majeur

294. Si, au confluent, le lit majeur de la rivière eſt fort

large, il s'exhauſſera peu-à-peu par les dépôts du torrent qui, pour lors, ſera dans le cas dont nous avons parlé au n. 134. Cet exhauſſement ſera proportionnel au volume des matières que le torrent chariera. Dans ce cas le lit ſera rétréci & la rivière s'établira du côté oppoſé (292). de la rivière ſera fort large.

On doit remarquer, qu'en pareil cas, un torrent équivaut à une digue; car, en exhauſſant un des côtés du lit, il force la rivière à s'établir du côté oppoſé (105 2°.).

Cet exemple peut s'obſerver à chaque pas, dans les pays de montagnes: on le trouve ſur-tout à l'embouchure des torrens qui ſe jettent dans la rivière d'Aſſe, près de Mezel, dans le département des Baſſes-Alpes.

295. *La pente d'une rivière doit augmenter à l'iſſue du confluent d'un torrent.* La pente d'une rivière augmentera à l'iſſue du confluent d'un torrent.

Car les matières chariées par un torrent n'ayant pas encore été atténuées par le roulage & les écornemens qui en ſont la ſuite (165) ſeront plus groſſières que celles de la rivière. Or, à raiſon de la brièveté de la crue du torrent, on ne doit pas compter ſur une augmentation d'eau de ſa part, lors du volume d'équilibre: donc le volume d'eau de la rivière doit être regardé comme conſtant, tandis que la groſſièreté des matières du fond augmente; mais (176 1°.) dans ce cas, la pente augmentera.

296. Si un torrent ſe jette dans un torrent-rivière, les variations réſultantes dépendront du point où le confluent aura lieu. Lorſque ce point ſe trouvera ſur la partie où le torrent-rivière peut être regardé comme torrent, ces variations ſeront les mêmes que celles dont nous avons parlé au n. 291. Au contraire, lorſque ce point ſera ſur la partie où le torrent-rivière peut être regardé comme rivière proprement dite, elles ſe rapporteront à ce que nous venons de dire (292 & 295). Dans l'eſpace intermédiaire, les variations ſeront mi-parties & compoſées. Cas où le torrent ſe jettera dans un torrent-rivière.

§. IV.

Du Confluent d'une Rivière & d'un Torrent-Rivière.

Si la nature du torrent-rivière approche de celle du torrent, les effets ſont les mêmes qu'au confluent du torrent & de la rivière.

297. Nous avons démontré (278) que le gravier eſt plus groſſier dans le torrent-rivière que dans la rivière qui le reçoit, & (280) que le torrent-rivière a plus de pente que la rivière dans laquelle il s'évacue. Or, ces propriétés appartiennent auſſi aux torrens (159 & 126): donc tout ce que nous avons dit aux n. 292, 294 & 295 au ſujet du confluent des torrens & des rivières, s'applique exactement au confluent des rivières & des torrens-rivières. Nous remarquons ſeulement que le torrent-rivière ayant toujours un certain volume d'eau (60), il arrive aſſez ordinairement que dans le cas du n. 294, il ſe diviſe en pluſieurs branches avant d'entrer dans la rivière. Cet effet ne provient point de la cauſe mentionnée au n. 288, puiſque le torrent-rivière ayant plus de pente que la rivière, ſes eaux doivent avoir auſſi plus de force; mais il réſulte de ce que les dépôts s'étendant ſous la forme d'un conoïde extrêmement écraſé, les eaux dans les grandes crues n'étant point contenues, ſe répandront de toutes parts, comme les torrens dans le cas dont nous avons parlé au n. 134. Or, parmi les diverſes faces de ce conoïde, il s'en trouve toujours pluſieurs qui ont plus de pente que les autres, & qui (105, 2.) attirent le courant, qui alors ſe diviſe en plus ou moins de branches, ſuivant les circonſtances.

Obſervations particulières.

La rivière d'Iſſolle qui, dans le fait, n'eſt qu'un torrent-rivière, puiſque les *galets* ne ſont pas encore parfaitement arrondis à ſon embouchure: cette rivière, diſons-nous, qui ſe jette dans le Verdon à Saint-André, dans le département des Baſſes-Alpes, nous en fournit de fréquens exemples.

§. V.

§. V.

Du Confluent de deux Rivières.

La pente diminue en aval du confluent de deux rivières.

298. D'après ce que nous avons dit au paragraphe Ier. de cette ſection, & qui ſe rapporte plus particulièrement au confluent de deux rivières, il ne nous reſte à ce ſujet qu'une obſervation à faire. Cette obſervation conſiſte en ce qu'ici la pente diminue en aval des confluens, au-lieu qu'elle augmente en aval de ceux dont nous venons de parler.

On peut en voir la démonſtration au n. 190.

§. VI.

Du Confluent de deux Torrens-Rivières.

Le confluent de deux torrens-rivières renferme quatre cas.

299. Nous avons ici quatre cas à examiner, ſavoir :

1°. Si les deux courans approchent plus de la nature du torrent que de celle de la rivière.

2°. Si les deux courans approchent plus de la nature de la rivière que de celle du torrent.

3°. Si l'un ſe rapproche plus du torrent, & l'autre de la rivière.

4°. Si l'un & l'autre tombent dans l'état intermédiaire.

Ces cas ſe rapportent à quelqu'un des précédens.

300. Dans le premier cas on doit regarder les deux courans comme deux vrais torrens dont les loix du confluent ſe rapportent à ce que nous avons dit au n. 291.

Dans le ſecond cas on doit regarder les deux courans comme de véritables rivières ; & alors on doit appliquer au confluent ce que nous avons dit au paragraphe précédent.

Dans le troiſième cas l'un doit être regardé comme tor-

rent, & l'autre comme rivière ; & l'on doit leur appliquer ce que nous avons dit aux n. 292, 294 & 295.

Dans le quatrième cas enfin, les variations tiendront plus ou moins de celles des trois précédens, ſuivant la nature des courans à leur confluent.

Venons à préſent à la ſeconde partie de cet ouvrage.

DEUXIÈME PARTIE.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens, des Rivières & des Torrens-Rivières.

SECTION I.

Des moyens d'empêcher la formation & les ravages des Torrens.

§. I.

Des moyens d'empêcher la formation des Torrens ſur les Montagnes.

Empêcher la coupe des bois ſur les montagnes.

301. NOUS avons dit (144) que la deſtruction des bois qui couvroient les montagnes étoit la première cauſe de la formation des torrens. Pour détruire l'effet, il faut extirper la cauſe. Donc, s'il reſte encore de la terre végétale ſur ces montagnes, le mieux ſeroit de les laiſſer ſe boiſer en laiſſant ces terres en friche, &, à cet effet, d'en écarter tout ce qui pourroit porter atteinte aux arbres naiſſans. C'eſt pour cette raiſon qu'on devroit tenir la main à l'exécution la plus ſtricte des loix concernant la prohibition des chèvres; car on ſait que la dent de cet animal eſt meurtrière pour les arbres naiſſans. Il n'eſt pas moins eſſentiel de pourvoir à la conſervation des bois exiſtans, puiſque ces bois, qui ont empêché juſqu'aujourd'hui les torrens de ſe former, nous ſont un sûr garant qu'ils en empêcheront encore la formation à l'avenir.

Mode à ſuivre pour les défrichemens ſur les montagnes.

302. Les défrichemens (145) ſont la ſeconde cauſe de la formation des torrens: il faut donc, qu'après avoir été trop généraliſés par les anciennes loix, ils ſoient réduits à leurs véritables limites. En conſéquence nous croyons, qu'à cet égard, on devroit ſe conformer à ce qui ſuit.

1°. Un défrichement ne devroit jamais, ſous quelque prétexte que ce fût, être permis ſur le penchant d'une montagne qui auroit moins de 3 de baſe ou d'empattement ſur 1 de hauteur verticale.

2°. Le défrichement pourroit être permis ſous un plus grand empattement ou une moindre déclivité, mais néanmoins avec des reſtrictions, d'après le mode que nous allons propoſer.

3°. Le défrichement ne devroit être autoriſé que par liſières ou bandes tranſverſales & horiſontales ou de niveau, ou du moins à peu de choſe près.

4°. Dans ce cas les bandes défrichées ſeroient ſéparées entr'elles par d'autres bandes pareillement horiſontales ou de niveau qu'on laiſſeroit incultes, & ſur leſquelles on permettroit aux bois de croître.

5°. Ces bandes incultes ſeroient deſtinées à remplacer les murs de ſoutenement preſcrits par la loi dont nous avons parlé au n. 145. Il paroît qu'elles ne devroient pas avoir moins de 5 toiſes de largeur pour pouvoir, au beſoin, détruire un torrent qui ſe formeroit ſur la bande ſupérieure défrichée.

6°. La largeur des bandes défrichées pourroit être de 5 toiſes ſeulement dans le cas où l'empattement de la montagne ſeroit de 3 ſur 1 de hauteur, & il paroît qu'elle pourroit croître en raiſon inverſe de cet empattement juſqu'à ce qu'on fût arrivé à une pente qui ne laiſsât plus aucun ſujet de craindre la formation des torrens; auquel cas cette largeur pourroit être illimitée.

7°. Enfin, les défrichemens, dans tous les cas, ne devroient pouvoir s'effectuer qu'avec l'autoriſation des autorités munici-

pales reſpectives, & d'après la vérification & le tracé préalable qui en ſeroit fait par un officier public, à ce prépoſé dans chaque commune.

Il n'y a perſonne qui ne voie que, d'après un pareil règlement, on éviteroit, à l'avenir, tous les déſaſtres produits par les défrichemens arbitraires, & preſque toujours fort mal entendus pour le public & le particulier; déſaſtres dont nous avons fait l'énumération aux n. 146 & 152.

303. La nature n'eſt que plus active lorſqu'elle eſt aidée par l'induſtrie humaine. Ainſi, dans le cas où l'on voudroit hâter ſur certains penchans de montagnes la multiplication des bois, il ne ſeroit ſouvent pas mal d'y ſemer, ſoit des glands, ſoit des faînes de l'eſpèce d'arbres qu'on préſumeroit être propres aux localités. Il y a plus d'un pays où l'on s'eſt parfaitement bien trouvé de l'uſage de ce moyen, qui paroît pourtant extraordinaire aux yeux du vulgaire.

Boiſer les montagnes en ſemant des glands ou des faînes.

304. Il y a des cas où il reſte aſſez peu de terre ſur les montagnes pour faire préſumer que les bois n'y prendroient que de foibles accroiſſemens: on pourroit alors, avec ſuccès, gazonner ce terrein, en y ſemant des graines des plantes qui ſeroient jugées les plus propres aux localités. Le tiſſu ſuperficiel que le gazon formera ſera un obſtacle à la formation des torrens; & d'ailleurs, par ce moyen, on créera des pâturages utiles.

Ou les gazonner.

Ce ſont là les moyens de prévenir la formation des torrens ſur les montagnes. Il nous reſte à voir ceux qu'il faut employer pour détruire, lorſque la choſe eſt poſſible, les torrens déjà formés.

305. Il paroît que juſqu'à préſent il n'y a qu'un ſeul moyen connu pour détruire les torrens. Ce moyen conſiſte à les prendre, dès leur origine, & à barrer leur lit d'eſpace en eſpace avec des pieux enfoncés en terre, entrelacés d'arbres placés en travers & recouverts de pierres. L'enſemble formera un obſtacle qui arrêtera les eaux lors des orages & les forcera à dépoſer

Manière de détruire un torrent à ſon origine.

tout ce qu'elles charient. A meſure que le fond s'exhauſſera par les dépôts, on exhauſſera auſſi les ouvrages juſqu'à ce que le lit du torrent ſoit entièrement comblé. Alors, pour en prévenir une nouvelle formation, il ſera très-prudent de complanter cet emplacement en brouſſaille.

L'uſage des murs pour cet objet, eſt défectueux & trop coûteux.

306. Il y a des gens qui employent des murs au lieu de paliſſades. Outre que cette méthode eſt plus coûteuſe, elle eſt beaucoup moins efficace que celle des paliſſades; car les eaux, en franchiſſant le mur, forment une caſcade qui l'affouille & en entraîne la ruine. Cette caſcade eſt bien moindre avec des paliſſades, à cauſe que les eaux paſſent à travers. D'ailleurs elle ne produit aucun effet dangereux, lorſqu'on a ſoin de placer une partie des branches des arbres extérieurement & du côté d'aval pour recevoir le choc des eaux dans leur chûte & en amortir la violence.

Cas où il eſt impoſſible de détruire un torrent.

307. Ce moyen réuſſit à ſouhait dans tous les torrens naiſſans, & qui n'ont pas encore creuſé bien profondément leur lit: l'expérience nous en garantit le ſuccès. Mais il n'en eſt pas de même lorſque les torrens ont pris des accroiſſemens conſidérables, & qu'ils ont creuſé de profonds vallons: dans ce cas, on doit regarder leur deſtruction comme impoſſible; ce qui prouve combien il eſt néceſſaire de s'oppoſer au mal dès ſon principe.

308. Il y a encore deux cas où la même impoſſibilité ſe rencontre. Le premier eſt celui où il ne reſte plus que le rocher nud ſur les montagnes, & le ſecond celui où le torrent eſt produit par une fondrière.

Dans le premier cas, quand même on forceroit les eaux à combler le lit par les pierres qu'elles charient (120), ce qui ne donneroit aucun bénéfice & ne pourroit s'effectuer qu'à grands frais, ne reſtant plus de terre végétale ſur la montagne & conſéquemment ne pouvant pas ſe couvrir d'ar-

bres, rien ne peut intercepter les eaux pluviales qui pourlors ſe frayeroient une autre route.

Dans le ſecond cas, ces torrens doivent originairement leur formation aux avalanches & aux éboulemens (13 & 14), & ces cauſes ne peuvent être miſes que dans la claſſe des cauſes ſupérieures, auxquelles rien ne peut réſiſter. Or, quand même on feroit des ouvrages ſur le lit de ces torrens, il eſt bien viſible que le premier éboulement les emporteroit.

§. II.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens au bas des Montagnes.

Trois cas à examiner dans les torrens au bas des montagnes.

309. Nous avons déja dit (136) qu'il falloit néceſſairement conduire le lit d'un torrent juſqu'à la rivière la plus voiſine, & (139) que la choſe devoit avoir lieu par la voie la plus courte. Nous avons pareillement vu (136 & 137) de quelle manière on devoit déterminer la pente du lit, depuis la montagne juſqu'à l'embouchure. Nous ne reviendrons donc pas ſur ces objets. Celui dont il nous reſte à nous occuper, eſt d'aſſigner les moyens les plus ſimples & les plus ſolides de contenir les eaux dans leur lit, & de les empêcher de s'extravaſer ſur les domaines riverains. Or nous avons dit (133) qu'il y a trois cas, ſavoir : 1°. Celui où le torrent s'établiroit en pleine terre. 2°. Celui où il couleroit ſuperficiellement ; & 3°. enfin, celui où il s'établiroit ſur un remblai. Nous allons donc examiner ſucceſſivement les moyens relatifs à chacun de ces cas.

Le torrent ſe réduit de lui-même dans le cas où ſon lit eſt en pleine terre.

310. Lorſque la pente du terrein intermédiaire à la montagne & à la rivière, eſt telle que le torrent eſt obligé d'y creuſer ſon lit en pleine terre, on n'a pas beſoin de faire

des ouvrages pour en contenir les eaux, puiſqu'elles ſe trouvent alors reſſerrées dans le canal que le torrent s'eſt lui-même pratiqué. C'eſt le cas le plus avantageux ; & il ſeroit à deſirer, pour le bien de la ſociété, que tous les torrens puſſent être conduits aux rivières voiſines par de pareils moyens.

Moyen de le réduire dans le cas où ſa pente eſt la même que celle du terrein.

311. Dans le cas où la pente du terrein ſeroit la même que celle que doit avoir le lit du torrent, les eaux couleront ſur la ſuperficie, & elles pourront s'extravaſer pendant les crues ; alors on aura beſoin de conſtruire des ouvrages pour les contenir. Il en ſera de même lorſque le terrein aura moins de pente, & que le torrent devra être conduit à la rivière par un remblai (134). Ainſi, ces deux cas conſidérés ſous le rapport des ouvrages deſtinés à contenir les eaux, s'identifient ; par conſéquent, les moyens que nous allons preſcrire s'appliqueront également à l'un & à l'autre, lorſque dans le troiſième cas le remblai ſera parvenu à la ligne de pente (137). Voyons d'abord le moyen de forcer le torrent à former le remblai de la chauſſée ſur laquelle il doit établir ſon lit.

Moyen de le réduire dans le cas où il doit être conduit ſur une chauſſée. Fig. 20.

312. Soit le torrent AB (fig. 20) qui deſcend des montagnes C, D, E, & qu'il s'agit de conduire à la rivière GHPQ à travers la plaine ZIHG en ſuivant la direction BF. On fera d'abord le nivellement détaillé de la ligne BF pour en avoir le profil. Aux points B, R, S, T, élevons des perpendiculaires à BF. Du point I tirons la ligne de niveau IO ; traçons le profil IKLMN de BF, & fixons la ligne IN du fond du lit projetté (137). Les lignes KV, LX, MY ſeront les hauteurs reſpectives du remblai aux points correſpondans R, S, T, de BF.

Menons de l'autre côté de BF la ligne ZJ parallèle à IO. Faiſons *ef*, *im* & *or* égales reſpectivement aux lignes KV, LX & MY. Par les points *e*, *i* & *o* tirons les lignes *ab*, *gh*,, *np*, égales entr'elles & à la largeur projettée du lit, augmentée de l'eſpace

néceſſaire

néceſſaire à la conſtruction des ouvrages deſtinés à contenir les eaux. Prenons enſuite $fc = fd = \frac{1}{3} ab + 2ef$; $mk = ml = \frac{1}{3} ab$ ou $\frac{1}{3} gh + 2im$; $rq = \frac{1}{3} np$ ou $\frac{1}{3} ab + 2ro$, & tirons les lignes *bc*, *ad*, *hk*, *gl*, *pq*, *ns*. On aura *abcd*, *ghkl*, *npqs*, qui ſeront les coupes ou profils tranſverſaux du remblai aux points K, S, T correſpondans.

Portons *eb* de B en *t* & en *u*; *fc* de R en *c'* & en *d'*, *mk* de S en *k'* & en *i'*; *rq* de T en *q'* & en *s'*, & *eb* de F en *x* & en *y*. Tirons les lignes *t'c'*, *c'k'*, *k'q'q'x* d'une part, & *u'd'*, *d'i'*, *i's'* & *s'y* de l'autre.

L'eſpace *tc'k'q'xys'i'd'u* compris entre toutes ces lignes, ſera celui qu'occupera l'empattement du remblai deſtiné à ſervir de lit au torrent.

On doit avoir remarqué qu'en prenant $fc = \frac{1}{3} ab + 2ef$ nous avons fait les talus des coupes doubles de la hauteur. La choſe devient indiſpenſable pour donner une aſſiette ſolide aux ouvrages, & pour pouvoir complanter ces talus en brouſſailles qui les fortifient.

Ces opérations préliminaires faites, on conſtruira une paliſſade en clayonnage de quelques pieds de hauteur de chaque côté de BF ſur les lignes *tc'k'q'x* & *ud'i's'y*. On creuſera pareillement un foſſé d'évacuation ſur la ligne BF; & on laiſſera au torrent le ſoin de former ſon remblai par les dépôts qu'il chariera à chaque crue.

A meſure que ces dépôts parviendront à la hauteur des paliſſades, on en conſtruira d'autres ſur les dépôts mêmes, ayant ſoin, pour donner le talus projetté, de s'avancer à chaque fois vers BF du double de la hauteur de la paliſſade précédente.

C'eſt par ce moyen qu'on parviendra à forcer le torrent à combler le vuide IKLMNYXV & à établir ſon lit ſuivant la pente de la ligne IVXYN. Avant de traiter des moyens de l'y

contenir, nous allons dire un mot ſur la largeur à lui donner & la manière de la fixer.

313. Nous avons vu (142) que le remblai ſera d'autant moins élevé que le lit du torrent ſera plus reſſerré. D'où il ſuit que, pour économiſer & accélérer en même tems le remblai, il faut réduire la largeur autant qu'il ſera poſſible. Mais nous avons vu auſſi (132) que c'étoit la pente dans la partie KC' (fig. 6) qui détermine celle ſur la partie C'C: par conſéquent, pour ne rien donner au haſard, on doit d'abord s'aſſurer, par des rétréciſſemens d'expérience qu'on fera ſur la partie KC', de la moindre largeur à donner & de la pente que le lit y prendra. Par ce moyen on connoîtra la pente & la largeur à donner au lit projetté ſur la partie C'C.

Quant à la largeur à ménager de chaque côté du lit ſur le couronnement du remblai, pour l'emplacement des ouvrages deſtinés à contenir les eaux, nous penſons qu'on ne peut pas le fixer au deſſous de 4 pieds.

On peut employer des paliſſades avec des buiſſons pour contenir le torrent.

314. Lorſque la largeur du lit eſt fixée, le moyen le plus ſimple d'y contenir les eaux eſt de le border, de chaque côté, d'une paliſſade entrelacée de buiſſons. L'expérience prouve que les buiſſons, ainſi employés, produiſent le meilleur effet. Mais comme ces ſortes d'ouvrages ne durent qu'un certain tems, il eſt très-prudent de les accompagner de plantations de toutes ſortes de brouſſailles & ſur-tout d'aubépine: cette eſpèce eſt reconnue la meilleure pour ces ſortes d'objets.

Emploi des murailles pour le même objet.

315. Dans certains endroits au lieu de paliſſades & de haies vives en brouſſailles, on emploie des murailles. Il faut convenir que, ſi ce moyen n'eſt pas le plus économique, il eſt du moins le plus sûr; mais il a beſoin d'être employé avec précaution; car, comme dans certains cas, le torrent creuſe ſon lit, il eſt poſſible qu'il affouille les ouvrages, à moins qu'ils ne ſoient établis bien profondément. Auſſi, lorſqu'on emploie des murs, pour cet objet, on doit donner au lit une largeur aſſez conſidé-

rable pour que l'abaiſſement du fond n'y ait jamais des ſuites fâcheuſes. C'eſt ce qu'on a fait aux torrens de Mezel qui s'évacuent dans la rivière d'Aſſe, dans le département des Baſſes-Alpes.

316. On pourroit auſſi, dans le même cas, ne donner que la moindre largeur poſſible (213), & employer des radiers par intervalles, pour garantir les murs des affouillemens. Mais nous ne devons pas nous diſſimuler que ce moyen a auſſi ſes inconvéniens; car, ſi à la ſuite d'une longue & forte crue, le fond par le moyen de la corroſion doit s'établir au-deſſous du couronnement du radier, il y aura une caſcade (213) qui le dégradera en l'affouillant. C'eſt ce qui eſt arrivé à Caſtellanne, dans le département des Baſſes-Alpes, où l'on avoit fait uſage de ce moyen ſur le torrent de la Cébière.

Uſage des radiers lorſqu'on emploie des murailles.

SECTION II.

Des moyens de contenir les Rivières & les Torrens-Rivières.

317. Nous diviſerons cette ſection en deux chapitres.

Dans le premier nous traiterons des digues;

Dans le ſecond nous les appliquerons aux torrens-rivières & aux rivières.

CHAPITRE I.

Des Digues.

§. I.

Des Digues considérées par rapport à leur direction.

Quel eſt l'objet des digues.

318. L'OBJET des digues eſt de garantir les berges de la corroſion. Juſqu'à préſent on n'a guères employé, pour cet objet, que des digues obliques ou parallèles à la direction du courant. Mais les unes & les autres entraînent après elles divers inconvéniens que nous allons ſucceſſivement faire connoître. Commençons par l'examen des digues obliques.

Inconvéniens des digues obliques à la direction du courant.

Fig. 21.

319. Soit ABCD (fig. 21) le lit majeur de la rivière EFGH, qui tend à ſe porter, ſuivant ſa première direction, ſur la partie KB de la berge AB, & à s'établir ſur le prolongement de ſon cours FMBNG. Suppoſons que, d'après l'uſage reçu en pareilles circonſtances, pour l'en détourner, on conſtruiſe la digue KL oblique à la direction du courant, il en réſultera les inconvéniens ſuivans :

1°. Nous avons déjà vu (232 & 234) que le courant s'établira à ſon pied, & qu'il l'affouillera. Par conſéquent, ſi la digue n'eſt pas profondément fondée, elle s'écroulera. Or, cela n'arriveroit pas, ſi elle n'étoit pas affouillée : donc une pareille direction provoque la ruine des ouvrages.

2°. Si le courant, après avoir parcouru la longueur de la digue KL, continue à ſe mouvoir ſur cette direction, il ſe portera ſur la berge DC & la corrodera. Qu'on entreprenne de la mettre à couvert par une autre digue oblique PQ, cette

digue portera, par la même raiſon, le courant ſur la partie inférieure de la berge AB, & ainſi de ſuite; de ſorte qu'on ne pourra garantir un côté qu'aux dépens de l'autre, & en briſant continuellement la direction du courant. Or, l'objet d'une digue doit être de détruire un mal ſans en produire d'autre: donc la digue oblique ne peut pas remplir cet objet.

3°. On ne conſtruit la digue KL, que parce que la partie KLB du lit majeur eſt plus baſſe que la partie reſtante, & qu'à raiſon de cela (105 2°.), la rivière tend à s'y établir : ſon objet eſt donc d'en détourner le courant. Or, nous avons vu (237) que les matériaux enlevés par l'affouillement le long de la digue, venant à s'arrêter vers RS, forment un obſtacle qui ſouvent détermine le courant à ſe porter par la route TVNS, ſur la partie poſtérieure de la digue qui eſt toujours la plus baſſe : donc la digue oblique ne remplit pas ſon premier objet.

4°. Enfin, le premier but qu'on doit ſe propoſer en conſtruiſant une digue, eſt d'éloigner le courant, & pour cela, de forcer la rivière à dépoſer & à produire des atterriſſemens qui exhauſſent le côté d'où on veut l'éloigner & le rendent plus haut que le reſte du lit: car alors (105 2°.) le courant ſera forcé de ſe retirer, & l'on extirpe le mal dans ſa racine. Or, (234 & 235) la digue oblique, loin de produire des atterriſſemens, produit au contraire des affouillemens; de ſorte que cette partie du lit qui étoit déjà plus baſſe que la partie reſtante, s'approfondit encore davantage par la corroſion; donc la digue oblique produit un effet diamétralement oppoſé à celui qu'on devroit avoir en vue & qu'on eſt cenſé ſe propoſer.

Tous ces inconvéniens ſont amplement prouvés par l'expérience. Les digues conſtruites ſuivant cette direction ſur la Durance, nous en offrent des exemples ſans nombre.

320. On voit, par cette énumération, que les digues obliques à la direction du courant, ſont vicieuſes ſous tous les rapports; qu'elles ne produiſent jamais l'effet qu'on ſe propoſe,

& qu'elles en produiſent toujours un contraire à celui qu'on auroit dû avoir en vue ; par conſéquent, elles doivent être proſcrites, lorſqu'il s'agira de mettre à couvert du courant, une berge ou un quartier riverain.

Les digues obliques ſont eſſentielles pour établir des priſes d'eau de canaux. Fig. 21.

321. Cependant, la propriété qu'ont ces digues d'attirer le courant & de l'obliger à les affouiller & à s'établir à leur baſe (232 & 234) nous offre un avantage bien précieux quoique peu connu juſqu'aujourd'hui. Cet avantage conſiſte à pouvoir établir, ſur les rivières à fond de gravier, des priſes d'eau pour des canaux, de manière que les eaux n'y manquent jamais, & que le gravier, pendant les crues, n'y puiſſe pas entrer ; & il eſt d'autant plus précieux, que ces rivières, ayant le plus de pente, ſont les plus propres à la dérivation, ſoit pour l'arroſage, ſoit pour la navigation.

En effet ſuppoſons la digue KL conſtruite en blocaille & en pierre sèche, il eſt viſible que les matériaux laiſſeront dans leurs joints beaucoup de vuides & d'interſtices ; que derrière la partie A'B', le long de laquelle le courant eſt parfaitement établi, on creuſe le canal A'D'C'B, d'abord évaſé en A'B' & enſuite réduit à ſa véritable largeur C'D' ; qu'on établiſſe le platfond à la profondeur convenable au-deſſous de la ſuperficie des plus baſſes eaux de la rivière ; qu'on pave en dalles ce platfond, & qu'on fortifie, par un perré, les talus intérieurs ſur l'eſpace A'D'C'B', pour éviter l'effet des affouillemens & les dégradations ; enfin, qu'on barre le canal en C'D' par un maſſif ſupérieur aux plus hautes eaux des crues, & percé de portes à vannes, qu'on fermera, à quelques pouces près, dans les hautes eaux, on ſent, au premier abord, que les eaux de la rivière trouvant un endroit inférieur à leur ſuperficie, s'y précipiteront par les vuides des joints des pierres, & de-là alimenteront le canal ; on ſent auſſi que jamais les eaux n'y manqueront, puiſque la digue attire le courant (232 & 234) ; on ſent, enfin, que dans les crues le gravier ne pourra pas entrer

dans le canal, puiſqu'il eſt pouſſé dans le ſens du courant, & que les eaux n'entrent dans le canal que par épanchement latéral & à travers les joints.

Au ſurplus, cet objet a beſoin de plus grands développemens: nous y reviendrons dans le traité des canaux d'arroſage, que nous publierons bientôt. En attendant, il nous ſuffit de dire que c'eſt d'après ces principes que nous avons fait exécuter, il y a environ dix ans, le canal de Château-Renard, dans le département des Bouches-du-Rhône, canal qui eſt dérivé de la Durance, & dont la priſe d'eau a été établie dans la digue de Noves.

Inſuffiſance & inconvéniens des digues parallèles à la direction du courant.

322. Venons à préſent aux digues parallèles à la direction du courant. L'unique objet de ces digues eſt de fortifier les bords & de les mettre à l'abri de la corroſion; par conſéquent elles ne peuvent remplir leur objet que par leur continuité, ce qui deviendroit énormément coûteux, ſi l'on vouloit les employer à réduire une rivière dans une partie conſidérable de ſon cours. D'ailleurs nous avons vu (238) que lorſqu'elles ſont employées ſur des rivières dont le lit eſt trop large, elles attirent le courant de la même manière que les digues obliques; par conſéquent ces ſortes de digues ſont d'un uſage très-circonſcrit, & ne ſauroient être employées d'après les principes reçus, à la réduction du lit des rivières qui eſt l'objet principal que nous avons en vue.

Les digues perpendiculaires à la direction du courant, ſont les ſeules qu'on puiſſe employer pour garantir les bords des rivières.

323. Puis donc qu'on ne peut ſe ſervir ni de digues obliques ni de digues parallèles à la direction du courant, il ne nous reſte plus que les digues perpendiculaires. Voyons ſi cette direction peut remplir nos vues.

Nous avons déjà dit (319 4°.) que l'objet d'une digue devoit être d'éloigner le courant. Comme (105 2°.) les eaux ſe portent conſtamment vers l'endroit le plus bas, il s'enſuit que celui où l'on veut conſtruire la digue, eſt cenſé plus bas que le reſte du lit; car, s'il étoit plus haut, par le principe que nous venons

d'indiquer (105 2°.), le courant s'en éloigneroit de lui-même, ſans avoir beſoin d'ouvrages de main d'homme. Donc, puiſqu'il ne ſuffit pas de pallier le mal, & qu'au contraire, il faut le détruire en extirpant la cauſe qui le produit; il faut, d'après le même principe, faire en ſorte que l'endroit dont il s'agit devienne le plus haut; car alors il eſt viſible que le courant s'en éloignera de lui-même.

Faut-il, en conſéquence, que l'homme encombre cet endroit, comme il encombre, par des matériaux de tranſport, les inégalités d'une route? Non; la nature, toujours ſage & prévoyante dans ſes opérations, a conſtamment placé le remède à côté du mal. En effet, ſi la rivière, par ſes corroſions ſur le fond, a rendu cet endroit plus bas que les autres, elle charie auſſi dans les crues beaucoup de matières étrangères, qui peuvent réparer ſes déſordres en s'arrêtant à l'endroit corrodé. Par conſéquent, la queſtion ſe réduit à forcer la rivière à réparer elle-même le mal qu'elle a produit par ſes corroſions, en l'obligeant à exhauſſer, par des dépôts, les endroits corrodés, & à les rendre plus hauts que le reſte du lit.

Ce n'eſt pas tout, nous avons vu (1re. Partie, Section III, Chapitre I & §. I, & Chapitre II, §. I.) que la groſſièreté des matières que la rivière charie eſt proportionnelle à leur force. La choſe d'ailleurs eſt aſſez ſenſible par elle-même, car il eſt clair que, plus le courant aura de force, plus l'effet qu'il produira à cet égard ſera conſidérable; or, dans ce cas, l'effet n'eſt que le tranſport des matières plus ou moins peſantes, plus ou moins groſſières; d'où il ſuit que les dépôts ſeront plus ou moins groſſiers, ſelon que la rivière aura plus ou moins de force à l'endroit où ils ſe formeront. Ces dépôts d'exhauſſement peuvent donc être en gravier, ou en ſable ou en limon; mais il ne ſuffit pas de gagner du terrein ſur le lit d'une rivière, il faut encore que ce terrein ſoit utile & profitable

ſitable à l'agriculture, & que ſous le moindre eſpace de tems, on puiſſe le cultiver & le rendre productif.

D'après cela il eſt évident que ſi un terrein formé par les dépôts n'étoit que gravier ou ſable, il ſeroit ſtérile par lui-même; qu'il ne pourroit être rendu à l'agriculture que lorſqu'il ſe ſeroit couvert d'une couche de terre végétale, & que la choſe ne pourroit avoir lieu qu'après un laps de tems plus ou moins long, ſelon les circonſtances. Au contraire, ſi les dépôts n'étoient qu'en limon, ils pourroient immédiatement après la retraite de la rivière, être exploités & mis en produit, d'autant mieux qu'ils ſont aſſez généralement compoſés de la partie la plus graſſe des terres. Par conſéquent, il eſt viſible qu'il eſt eſſentiel, pour le bien de l'agriculture, que les dépôts d'exhauſſemens ne ſoient compoſés que de limon & non de ſable ni de gravier. D'où il ſuit que, d'après ce que nous avons dit ci-deſſus, la force du courant doit devenir la moindre poſſible: car, ſans cela, les dépôts ſeroient plus groſſiers.

L'on voit par-là que la queſtion ſe réduit à détruire la force du courant le plus exactement poſſible, ſur l'endroit à exhauſſer, ou ce qui eſt la même choſe, à y rendre les eaux mortes & ſtagnantes, du moins à peu de choſe près; or, cette deſtruction ne peut s'opérer que par le moyen des digues. Les digues parallèles au courant ne peuvent pas l'effectuer, puiſqu'à raiſon du parallèliſme, il ne doit pas y avoir de réſiſtance oppoſée. Nous avons vu que les digues obliques attiroient le courant, & que loin de détruire ſa force, elles lui donnoient une nouvelle énergie. Il n'y a donc que les digues perpendiculaires qui, par leur direction, puiſſent détruire radicalement & ſans décompoſition, l'intenſité du courant, & en rendre les eaux mortes & ſtagnantes.

Donc *il n'y a que les digues perpendiculaires à la direction du courant qui puiſſent extirper la force du mal.*

La digue perpendiculaire produira des dépôts en amont. Fig. 22.

324. Soit donc la rivière KLMN (fig. 22) qui ſe porte vers BC, pour corroder la partie inférieure de la berge DC. Si l'on conſtruit la digue AB parallèle à la berge & au lit général, elle garantira la berge ſur toute la partie correſpondante. Mais, d'une part, elle ne peut la mettre à couvert en entier, ſans être prolongée ſur toute ſa longueur, ce qui entraîneroit des dépenſes énormes; & de l'autre, elle ne détruira pas la cauſe première qui attire le courant, & qui conſiſte en ce que la partie du lit du côté de CD eſt plus baſſe que du côté de GH.

Si on remplace cette digue par la digue oblique AE, elle forcera le courant à s'établir à ſa baſe, & enſuite elle le portera ſur la berge oppoſée; plus ſouvent même le courant la contournera pour ſe porter ſur la partie BC vers laquelle ſe trouve, par hypothèſe, la plus forte pente; mais dans tous les cas, la cauſe du mal ſubſiſtera toujours; car il n'y aura point de dépôt & par conſéquent aucun exhauſſement du côté de la berge DC.

Enfin, qu'on ſubſtitue à ces deux digues, la digue perpendiculaire AF. Etant directement oppoſée à l'action du courant, la force des eaux ſera totalement détruite. N'y ayant point de pente dans le ſens tranſverſal AF, la rivière ſe détournera à une certaine hauteur N, pour prendre ſa route par la tête de la digue & s'établir ſur NOPQ. Les eaux ſeront donc ſtagnantes au-devant de la digue AF, juſqu'à une certaine hauteur K en amont. Donc il ſe formera des dépôts ſur toute la partie en amont de AF. Donc cette partie ſera exhauſſée & la cauſe du mal ſera détruite.

Elle produira auſſi des dépôts en aval. Fig. 22.

325. Mais ce n'eſt pas ſeulement ſur le devant ou en amont, que la digue perpendiculaire occaſionnera dès dépôts; elle en produira encore ſur le derrière ou en aval. En effet, il eſt aiſé de ſentir que dans une crue, les eaux ſeront ſupérieures à la ſuperficie du gravier du lit majeur, & qu'en aval du point F elles s'extravaſeront ſuivant leur niveau & ſe répandront ſur toute la partie FACQ poſtérieure de la digue. Or ces eaux ne ſont plus pouſſées

par les eaux correſpondantes en amont de AF à cauſe de l'interpoſition de la digue qui rompt toute continuité. Elles n'auront donc que la vîteſſe qu'elles acquerreront par la pente de cette partie du lit, vîteſſe qu'on ſent bien devoir être, ſous tous les rapports, incomparablement moindre que celle du courant principal. D'un autre côté, obligées de rentrer enfin dans le courant, elles en éprouveront la même réſiſtance qu'éprouve (286) un courant foible, quand il ſe préſente pour entrer dans un plus fort; c'eſt-à-dire qu'elles ſeront obligées de s'enfler, & par-là même de perdre le peu de vîteſſe qu'elles auroient pu avoir acquiſe.

Ainſi la vîteſſe des eaux extravaſées en aval de la digue AF, ſera très-petite. Or les eaux dépoſent d'autant plus qu'elles ont moins de vîteſſe. Donc elles dépoſeront auſſi ſur le derrière ou en aval de la digue perpendiculaire AF.

326. L'on voit, par tout ce que nous venons de dire, que les digues perpendiculaires ont la propriété d'obliger le courant à dépoſer en amont & en aval & à exhauſſer les endroits les plus bas par des dépôts de limon & non de gravier, dépôts qui peuvent être tout de ſuite rendus à l'agriculture, ce que n'opèrent pas les digues obliques, ni les digues parallèles. Les digues perpendiculaires ſont donc les ſeules qui puiſſent détruire la cauſe qui porte un courant vers un endroit déterminé, en rendant cet endroit plus élevé que le reſte du lit.

Au reſte, nous ne haſardons rien : car tout cela eſt pleinement confirmé par des expériences directes, que nous avons faites à ce ſujet ſur la Durance.

Erreur des anciens au ſujet de l'angle d'obliquité des digues.

327. L'uſage conſacré par le tems, vouloit que le *maximum* de l'angle BAE, formé par la direction générale du lit & par celle d'une digue, n'excédât jamais 45 degrés ou la moitié du quart de cercle. Il ſeroit difficile, pour ne pas dire impoſſible, de donner la raiſon d'un pareil règlement : on ne pouvoit en cela avoir que deux objets en vue; ſavoir : 1°. d'éloigner le

courant de l'endroit qu'on vouloit mettre à couvert ; 2°. de nuire le moins poſſible à la berge oppoſée. Or, l'un & l'autre de ces deux objets auroient été beaucoup mieux remplis ſous un angle au-deſſus qu'au-deſſous de 45 degrés. En effet :

1°. Soit SR la force du courant : abaiſſons la perpendiculaire ST, elle exprimera la force détruite, & TR la force réſidue. Pour éloigner le courant de cet endroit, il faut occaſionner des dépôts, & conſéquemment augmenter la force détruite ST. Or, ST ne peut augmenter que par l'augmentation de l'angle SRT = EAB, & elle diminuera lorſque cet angle deviendra plus petit : donc on auroit eu plus de dépôts, & conſéquemment on auroit mieux réuſſi à éloigner le courant par un angle EAB au-deſſus de 45 degrés, que par le même angle au-deſſous.

2°. Plus l'angle SRT = EAB ſera petit, plus la force réſidue TR & la pente dans le ſens de AE ſeront grandes : par conſéquent, la rivière aura bien plus d'énergie pour ſe diriger ſuivant AE, & nuire à la berge oppoſée. Au contraire, plus l'angle SRT ſera grand, plus la force réſidue TR, & la pente ſuivant AE diminueront. Donc, alors le courant aura d'autant moins d'énergie pour établir ſon cours ſuivant la direction de AE, & arrivé à l'iſſue de la digue en E, trouvant plus de pente dans le ſens EV du lit général que dans le ſens EX du prolongement de la digue, il ſe dirigera plutôt ſuivant EV que ſuivant EX : donc l'angle au-deſſus de 45 degrés ſeroit moins préjudiciable à la berge oppoſée que l'angle au-deſſous.

Conſéquences que l'on doit en tirer. Fig. 22.

328. De ce que nous venons de dire, on doit conclure que lorſque les digues obliques approchent de la direction perpendiculaire, elles peuvent auſſi produire des dépôts, car, dans ce cas, la partie détruite ST de la force du courant, augmente continuellement, tandis que la force réſidue TR diminue toujours plus ; donc, lorſque la force détruite ſera telle que la force reſtante ne ſuffira plus au tranſport des ma-

tières, les dépôts commenceront. Mais il y a ceci à obſerver : c'eſt qu'alors les dépôts ſeront en gravier ou en ſable ; car, ils ne ſeront en limon, que lorſque la force reſtante ſera nulle. Ce qui eſt conforme à l'expérience.

Revenons aux digues perpendiculaires.

On doit conſtruire un éperon à la tête de la digue perpendiculaire, pour la mettre à couvert. Fig. 23.

329. Lorſqu'il s'agit d'employer ces digues pour réduire une rivière dont le lit majeur eſt fort large, il ſe rencontre ſouvent des cas où leur longueur ſeroit des plus conſidérables, & où conſéquemment elles entraîneroient dans des dépenſes énormes. Il s'agit donc de voir s'il ne ſeroit pas poſſible d'en rendre la conſtruction plus aiſée & plus économique.

Soit pour cela ABCD (fig. 23) le lit majeur d'une rivière à réduire, ſoit pareillement la digue perpendiculaire EF ; à ſon extrêmité conſtruiſons un éperon GH qui lui ſoit auſſi perpendiculaire ou qui ſoit parallèle à la direction du courant, & diſpoſons-le de façon que la plus grande partie FG ſoit du côté d'amont ; s'il ſurvient une crue, l'eſpace EFGK ſera occupé par des eaux mortes, puiſqu'elles n'auront point d'iſſue. Suppoſons qu'une branche quelconque LMNO ſe porte ſur la digue perpendiculaire EF ; imaginons la maſſe d'eau ſtagnante EFGK diviſée en une infinité de tranches verticales 1, 2, 3, 4, 5, &c. Toutes ces tranches ne pourront être refoulées par le courant ſans détruire une partie de ſa vîteſſe & de ſa force. La tranche 1 lui en fera donc perdre un degré, la tranche 2 lui en détruira un ſecond, & ainſi de ſuite ; de ſorte que le courant n'arrivera pas juſqu'à la digue EF, ſi le nombre de tranches eſt aſſez conſidérable, & comme (97) la réſiſtance ſe fait ſentir de proche en proche en amont juſqu'à une aſſez grande diſtance ; que (105. 3°.) le courant ſe porte toujours vers l'endroit où il trouve moins de réſiſtance, & qu'il eſt viſible qu'il en trouve moins entre l'éperon GH & la berge DC, que dans la partie correſpondante à la digue EF ; à une certaine hauteur la branche LMNO ſe détournera

& prendra la poſition PQRS en paſſant le long de l'éperon GH ; dans ce cas les eaux qui occuperont l'eſpace APFE ne ſeront que des eaux épanchées latéralement, & qui feront les fonctions de berge pour ſoutenir le courant dans ſa nouvelle poſition PQRS.

La choſe eſt conſtatée par l'expérience de pareilles digues que nous avons fait exécuter ſur la Durance.

L'éperon empêchera le courant d'atteindre la digue perpendiculaire. Fig. 23.

330. Pour mieux ſe convaincre de la vérité de notre aſſertion, ſuppoſons qu'un filet quelconque LO de la branche LMNO parvienne juſqu'à la digue EF, & la choque au point T. Ce filet ne pouvant pas continuer ſa route par l'interpoſition de la digue EF, ni s'échapper du côté de la berge AE dont la hauteur eſt ſuppoſée ſupérieure à la ſurface des eaux, ſera néceſſairement forcé de s'échapper vers PG, en paſſant à la tête G de l'éperon. Mais la pente, ſuivant la ligne droite LG, eſt plus grande que ſuivant la ligne briſée LTG. Donc (105 2°.) le filet LO ſuivra plutôt la direction LG que LTG : ainſi l'expérience & les loix de la nature ſont d'accord ſur cet objet.

Autre manière d'enviſager la choſe. Fig. 23.

331. On peut enviſager, ſous un autre point de vue, ce que nous avons dit au n. 329 au ſujet de la réſiſtance oppoſée par les diverſes tranches 1, 2, 3, &c. Servons-nous, pour cela, d'une comparaiſon : nous voyons tous les jours les plus grandes forces détruites par des réſiſtances qui cèdent peu-à-peu. Un boulet de canon, par exemple, eſt amorti par la réſiſtance d'un ballot de laine. Dans ce cas, les divers filamens cèdent en réſiſtant & détruiſent, à chaque inſtant, une partie de la force du boulet, juſqu'à ce que la ſomme de ces deſtructions partielles ſoit égale à la force totale primitive ; or les lames d'eau 1, 2, 3, &c. produiſent le même effet ſur le courant LMNO. Donc elles doivent auſſi détruire ſa force par degrés.

Nous pouvons donc dire que la maſſe d'eaux mortes & dormantes EFGK eſt une digue d'eau que le courant doit forcer

avant de parvenir à la digue EF, & qui eſt deſtinée à mettre à couvert EF par ſa réaction contre l'action du courant.

L'éperon occaſionne une maſſe d'eaux ſtagnantes au-devant de la digue. Fig. 23.

332. On doit ſentir à préſent quel eſt l'objet de l'éperon GH & pourquoi il va au-devant du courant. C'eſt cet éperon qui, comme on voit, eſt la cauſe première de la maſſe d'eau ſtagnante qui met la digue EF à couvert de l'action du courant. Quelque ſoit la longueur de EF, l'effet produit par l'éperon n'en ſera pas moins le même. Il ſe formera conſtamment une digue d'eau EFGK au-devant de EF qui détruira la force du courant & l'empêchera de parvenir juſqu'aux ouvrages. Or, non-ſeulement EF ne ſera point dégradée par le courant, mais encore elle ſera fortifiée par les dépôts qui ſe formeront au-devant par la digue d'eau. Ainſi on doit regarder l'éperon GH comme la partie eſſentielle des ouvrages. En conſéquence il convient de l'enviſager ſous tous ſes rapports; mais auparavant nous allons déduire, de ce que nous avons dit, une conſéquence infiniment eſſentielle dans la pratique & qui entraîne après elle la plus grande économie.

Donc il ſuffira que la digue ne ſoit qu'une ſimple chauſſée en terre ou en gravier. Fig. 23.

333. Puiſque par le moyen de l'éperon GH il n'y aura aucun choc ſur EF, & que cette digue ne fera d'autres fonctions que de ſoutenir la preſſion de la maſſe d'eaux ſtagnantes ſur EFGK, il ſeroit très-inutile de conſtruire EF avec la même ſolidité & les mêmes précautions que ſi elle devoit recevoir l'action du courant: en conſéquence, il ſuffira que la digue EF ſoit une ſimple chauſſée en terre ou en gravier, & dont le couronnement ſoit ſupérieur à la ſuperficie des plus hautes eaux.

Obſervations eſſentielles ſur la conſtruction de l'éperon. Fig. 23.

334. Quant à l'éperon GH, il y a pluſieurs obſervations à faire.

1°. Le courant devant néceſſairement s'établir le long du parement GH, & y exercer ſon action latérale & celle de corroſion ſur le fond, il eſt eſſentiel qu'il ſoit fortifié de façon que ces actions ne puiſſent point le dégrader; car étant l'ame de l'ouvrage, une fois détruit, la ruine de tout le reſte s'en ſuivroit.

2°. La digue EF ſera d'autant mieux miſe à couvert par la digue d'eau EFGK que le nombre de tranches ou lames élémentaires 1, 2, 3, &c. ſera plus conſidérable. Or ce nombre dépend de la longueur de la partie FG de l'éperon en amont de la ligne EF. Donc les ouvrages ſur EF ſeront d'autant mieux aſſurés que la partie FG de l'éperon ſera plus longue.

3°. Arrivé en H, le courant doit s'extravaſer ſur les derrières de EF; & il eſt poſſible qu'il y ait un mouvement de turbination qui produiſe un gouffre. Il faut donc éloigner ce danger de EF, qui n'étant qu'en terre & gravier (333) en ſeroit infailliblement dégradée; en conſéquence, l'éperon doit déborder la digue EF en aval d'une certaine quantité FH.

Quelles ſont les parties de l'éperon qu'il faut fortifier. Fig. 23.

335. Il ne ſuffit pas de fortifier le parement extérieur de l'éperon; les deux abouts G & H, & une partie des paremens de revers doivent être auſſi ſoigneuſement fortifiés; en effet:

1°. Le courant PQRS en s'établiſſant le long de GH, agira néceſſairement ſur l'about G; d'autre part les eaux qui couleront pendant les crues ſur l'eſpace AKGP, ne rentreront, dans le courant, qu'en G; ainſi, ſous ces deux rapports, l'about G exige d'être ſoigneuſement fortifié.

2°. A raiſon de ce que nous venons de dire, il pourra arriver que vers l'about G & intérieurement à l'eſpace EFGK, il s'établiſſe, dans certaines circonſtances, des gouffres réſultans des mouvemens de turbination; par conſéquent, il eſt prudent de fortifier pareillement le revers de l'éperon vers l'about G.

3°. C'eſt par la même raiſon qu'on doit pareillement fortifier avec ſoin l'about H d'aval & le revers correſpondant à FH.

La longueur de l'éperon du côté d'amont, eſt en raiſon inverſe de la pente de la rivière. Fig. 23.

336. Pour déterminer le filet LO à prendre la direction LG, il faut que la pente par LG ſoit plus grande d'une quantité déterminée que la pente par la ligne briſée LTG; or, plus

plus la pente de la rivière ſera grande, moins il faudra de longueur à la ligne briſée LTG pour ſe procurer une différence déterminée de pente ſur des eſpaces égaux à LG. Au contraire, plus la pente ſera petite, plus la ligne briſée doit être longue. Donc la ligne TG ſera plus courte dans le premier cas, & plus longue dans le ſecond : il en ſera par conſéquent de même de FG. Donc *la longueur FG de l'éperon en amont, ſera ſenſiblement en raiſon inverſe de la pente de la rivière.*

Quelle doit être la longueur de la partie en aval. Fig. 23.

337. Pour ce qui eſt de la longueur de la partie FH en aval, comme elle eſt affectée (334 3°.) à garantir la digue EF de l'effet des gouffres produits par le mouvement de turbination des eaux, elle doit viſiblement être proportionnée à la longueur de ces gouffres. Or, cette longueur eſt plus ou moins grande, ſuivant le volume d'eau des rivières. Conſéquemment, la longueur de la partie FH de l'éperon en aval de la digue, ſera comme le volume d'eau de la rivière ſur laquelle on opérera.

Expériences relatives à ces dimenſions.

338. On voit par-là que c'eſt à l'expérience qu'il faut recourir, pour trouver la longueur des parties d'amont & d'aval de l'éperon. Lorſqu'on s'en ſera aſſuré ſur une rivière dont on connoîtra le volume d'eau & la pente, il ſera aiſé de trouver ces dimenſions dans toute autre rivière.

Nous fîmes nos premiers eſſais à ce ſujet ſur la Durance à Orgon, dans le département des Bouches-du-Rhône. En cet endroit, la pente réduite de la rivière eſt d'environ 14 pouces ſur 100 toiſes de longueur. Nous ne donnâmes d'abord que 15 toiſes de longueur à FG; l'expérience nous fit voir qu'elle étoit inſuffiſante, & que la rivière, ayant abaiſſé ſon lit devant l'éperon, il pouvoit ſe former des branches qui circulaſſent dans l'eſpace AEFP pour rejoindre la branche-mère en G. Nous avons évité en grande partie cet inconvénient en donnant 25 toiſes à FG. Cependant cette longueur eſt encore inſuffiſante, & il paroît que, ſur cette rivière, FG ne doit pas avoir moins de 50

toises ; nous nous en serions assurés positivement, mais la révolution & diverses circonstances particulières ne nous l'ont pas permis.

Quant à FH nous lui avons constamment donné de 8 à 10 toises, & l'expérience nous a fait voir qu'elle suffisoit sur la Durance.

Les atterrissemens produits par les dépôts, auront la forme d'un glacis incliné vers le courant.

339. Nous terminerons ce paragraphe en disant encore un mot sur les atterrissemens produits par les digues perpendiculaires. Les eaux déposeront d'autant plus qu'elles seront plus stagnantes ou qu'elles auront moins de mouvement. Or, plus elles seront éloignées du courant, plus elles seront tranquilles ; au lieu, qu'en avançant vers la rivière, elles participeront toujours plus à son mouvement. Donc les dépôts seront plus considérables loin du courant & ils diminueront en s'approchant. Par conséquent *ils auront la forme d'un glacis incliné vers le courant*, & c'est ce que l'expérience justifie.

§. II.

Des diverses espèces de Digues ; leur profil, leurs matériaux, leur construction, & des cas où on doit les employer.

Problême relatif au profil des murs d'un bassin. Fig. 24.

340. Avant d'entrer en matière, nous allons chercher une formule générale qui, avec quelques modifications, puisse s'adapter à la plupart des digues dont nous traiterons.

Supposons que AK (fig. 24) soit le parement intérieur du mur d'un bassin dans lequel l'eau s'élève jusqu'en A, & que ce mur soit composé de lames horisontales P*m* infiniment minces & liées entr'elles par le seul frottement. Il s'agit de trouver l'équation à la ligne AML qui terminera les lames P*m*, *pm'* &c., de façon qu'elles soient en équilibre avec l'action de l'eau.

S'il n'y avoit point de frottement, une lame quelconque P*m* étant poussée, glisseroit sur l'inférieure *pm'*. Mais à cause de la

réſiſtance du frottement, avant qu'elle ſoit ſur le point de gliſſer, il faudra qu'il y ait une certaine quantité de force abſorbée. Ainſi, le corps qui oppoſera cette réſiſtance, recevra lui-même cette force: or, cette réſiſtance eſt oppoſée par les irrégularités de la ſurface ſupérieure de la lame pm', qui engrênent celles de la ſurface inférieure de la lame Pm. Donc, dans le cas d'équilibre, l'action de l'eau ſur la lame Pm ſe tranſmet à la lame pm'.

Par un ſemblable raiſonnement, on voit que cette même action doit ſe tranſmettre à toutes les lames inférieures & qu'il en ſera de même des actions ſur les lames pm', $p'm''$, &c. Donc, dans l'équilibre, une lame quelconque eſt cenſée éprouver, de la part de l'eau, une action égale à l'action entière de l'eau ſupérieure.

Nommons AP, x & PM, y. Pp ſera $= dx$. Soient la peſanteur ſpécifique des matériaux $= q$; le rapport de la preſſion à la réſiſtance du frottement $= m$; la vîteſſe produite par la gravité en une ſeconde, c'eſt-à-dire 30 pieds $= p$, & la force du choc perpendiculaire de l'eau mue, avec un pied de vîteſſe par ſeconde, contre une ſurface immobile d'un pied carré $= n$; nous aurons l'action de l'eau ſur $Pp = \int 2npx\,dx$.

La tranche Pm portera toute la partie ſupérieure $APM = \int y\,dx$. Donc la réſiſtance du frottement ſera $= \frac{q\int y\,dx}{m}$.

Et puiſqu'il doit y avoir équilibre entre l'action de l'eau & la réſiſtance du frottement, nous aurons l'équation $\frac{q\int y\,dx}{m} = \int 2npx\,dx$, ou en différenciant les deux membres, $\frac{qy\,dx}{m} = 2npx\,dx$: d'où l'on tire $y = \frac{2mnpx}{q}$; équation au triangle.

Pour conſtruire ce triangle ſur la verticale AC (fig. 25), prenons $AT = q$, & tirons l'horiſontale $TV = 2mnp$. Si nous joignons le point A au point V par la droite AVF, le triangle ACF ſatisfera à la queſtion: car en nommant AR, x & RH, y, on aura la proportion $q : 2mnp :: x : RH = y = \frac{2mnpx}{q}$. Fig. 25.

341. Menons AD parallèle à CF &, par un point quelconque G pris sur cette ligne, tirons aux points C & F les lignes GC, GF; les élémens du triangle GCF feront égaux aux élémens correspondans du triangle ACF. Donc le triangle GCF satisfera aussi à la question. Il en sera de même de tout autre triangle qui aura pour base CF & son sommet en quelque point de AD.

Applications aux digues sur les rivières. Fig. 25.

342. Appliquons aux digues sur les rivières la solution de ce problême. Supposons qu'une rivière choque le parement AC, que ses eaux s'élèvent jusqu'en B, &, qu'en cet endroit, la hauteur due à leur vîtesse soit AB; il est évident, qu'abstraction faite des obstacles qui empêchent (97) que la vîtesse des eaux inférieures ne soit exprimée par les ordonnées d'une parabole, l'action sur BC sera à-peu-près la même que dans le problême du n. 340, si l'on eût supposé le réservoir entretenu plein & un orifice vertical rectangulaire de la hauteur de BC. Nous disons *à-peu-près*; car (340) l'action de l'eau sur AB se fait sentir à toutes les lames inférieures dans le réservoir entretenu plein, tandis que, dans les rivières, la partie AB n'éprouve aucune action. Mais la différence est à l'avantage des travaux dont nous traitons, puisque nous supposons par-là que l'action sur la digue est un peu plus grande que dans la réalité; ce qui n'est pas un défaut. Donc tout ce que nous venons de dire (340 & 341) peut s'appliquer aux digues sur les rivières, &, par conséquent, le triangle ACF ou tout autre de même base & de même hauteur pourra en être le profil.

L'expérience rend inutile la solution de ce problême. Fig. 25.

343. Tel est le résultat de la pure théorie. Si l'architecture hydraulique étoit encore au berceau, la formule du n. 340 pourroit nous diriger dans nos essais & nos expériences; mais aujourd'hui il seroit inutile & même déplacé de s'y conformer: car elle nous jetteroit dans des dépenses sans fin pour faire des expériences qui, dans tous les cas, nous fissent connoître le rapport de la force de tenacité des matériaux à leur pres-

ſion ; & elle ne nous fait voir qu'une choſe que tout le monde ſait, ſavoir : que les ouvrages ſur les rivières doivent avoir un empattement & plus de largeur à la baſe qu'au couronnement, mais la loi de diminution eſt infiniment mieux & plus ſûrement déterminée par l'expérience que par l'équation. En effet, en recueillant tout ce que nous avons obſervé, ſoit ſur nos ouvrages, ſoit ſur ceux d'autrui, nous pouvons réſumer ce qui ſuit, ſavoir :

1°. Dans les digues EF (fig. 23e.) conſtruites en terre ou en gravier & deſtinées à être terminées par un éperon GH, le couronnement doit avoir 9 pieds de largeur, & les talus, tant antérieurs que poſtérieurs, une ſaillie de 3 de baſe ſur 2 de hauteur ; ils peuvent même être réduits à la diagonale du carré, ou à un de baſe ſur un de hauteur.

2°. Les mêmes dimenſions auront lieu dans les mêmes digues lorſqu'elles ſeront fortifiées d'un péré quelconque.

On peut même, dans l'un & l'autre cas, réduire la largeur du couronnement ſuivant le volume d'eau & la rapidité des rivières, mais on doit conſtamment obſerver qu'il vaut mieux pêcher par excès que par défaut.

3°. Dans les digues en pierre, l'épaiſſeur à la baſe doit être égale à la hauteur. Quant à la largeur du couronnement, elle varie ſuivant les conſtructions & les circonſtances.

Si la digue eſt parementée en taille & conſtruite à mortier de chaux & ſable, le couronnement aura 5 pieds de largeur ſur les rivières fort rapides, & ſon *minimum* ſera de 3 pieds dans celles qui ont peu de vîteſſe.

Si elle eſt conſtruite en blocaille ou en pierre d'échantillon, & ſans mortier, le *maximum* de la largeur au couronnement ſera de 7 à 8 pieds, & le *minimum* de 4 pieds.

Au ſurplus, nous parlons des digues ſur les rivières : car s'il eſt queſtion d'un ouvrage ſur un torrent-rivière pris à

l'endroit où il tient plus du torrent que de la rivière, on ſent bien qu'il y auroit des modifications.

En un mot, comme dans une infinité de cas les ouvrages dépendent des localités qu'on ſait être variées à l'infini, il y a auſſi une infinité de circonſtances où la ſagacité & les connoiſſances de l'ingénieur doivent ſuppléer à ce qui peut manquer à ce traité : car on doit ſentir qu'il eſt impoſſible d'établir des principes qui embraſſent tous les cas ſans aucun amendement.

Nous allons à préſent entrer dans les détails de chaque eſpèce de digue en particulier.

ARTICLE PREMIER.

Des digues en terre ou gravier qui doivent être terminées par un éperon.

Dimenſions des digues perpendiculaires.

344. D'après ce que nous avons vu (324 & 333), ces digues doivent être employées dans le cas où il s'agit de forcer la rivière à exhauſſer, par des dépôts, une partie déterminée du lit, & elles doivent être perpendiculaires à la direction du courant, s'il s'y eſt déjà établi, ou à celle qu'il prendroit, s'il s'y établiſſoit.

Par le même n. 333 leur hauteur doit être ſupérieure à la ſuperficie des plus hautes eaux de la rivière ; cet excédent doit être au moins de 18 pouces. Ainſi la première choſe à faire en pareil cas eſt de s'aſſurer, avant tout, de la plus grande hauteur des eaux, dans les plus fortes crues, & de la rapporter, par le niveau, à un point fixe pris ſur la terre ferme adjacente. Ce point ſervira de repére lors de la conſtruction.

On prendra, pareillement au niveau, le profil du ſol, ſur la direction de la digue à conſtruire, & on le rapportera au repére dont nous venons de parler. Alors on aura toutes les données

pour avoir les coupes & profils de l'ouvrage. Mais avant d'en parler, nous allons dire un mot des matériaux qu'on doit employer.

345. Nous avons déjà dit (333) qu'il suffisoit, par le moyen de l'éperon GH, que la digue EF fût une simple chaussée en terre ou en gravier. On ne doit pas se dissimuler que la terre est préférable au gravier; 1°. Parce que les matériaux, tassés seulement par le roulage des voitures qui servent à leur transport, se lient mieux; 2°. parce que les terres empêchent les filtrations de l'amont à l'aval à travers la chaussée; ce qui mérite d'être pris en considération; 3°. enfin, parce qu'après l'atterrissement formé & la retraite des eaux on peut fortifier les talus avec de la broussaille qui croîtra bien mieux dans la terre que dans le gravier. Matériaux des digues perpendiculaires.

Mais aussi, d'un autre côté, le gravier a son avantage, en ce que, 1°. étant ordinairement sur la place, il en coûte très-peu pour le transport; 2°. l'agitation des eaux stagnantes ne dégrade pas les talus par la corrosion, ainsi que cela a lieu sur les talus en terre.

Nous avons expérimenté l'un & l'autre, & nous avons trouvé que la manière la plus économique & la plus sûre étoit de faire la chaussée en gravier, ayant seulement soin de ménager, dans le noyau & de bas en haut, un corroi de terre bien battue d'environ 2 pieds d'épaisseur, pour arrêter les filtrations. Dans ce cas les talus doivent être les plus grands possible. Par-là, l'agitation des eaux ne les dégradera pas.

346. Mais si la terre étoit plus à portée que le gravier, on sent bien qu'il faudroit l'employer de préférence. Alors on donnera le talus de 3 de base sur 2 de hauteur (343 1°.) & on le couvrira d'une couche de gravier d'un pied d'épaisseur. A défaut, il faudroit le garantir par des clayonnages ou palissades treſſées en osier au droit de la ligne de la surface des eaux.

Coupe des digues perpendiculaires. Fig. 26.

347. Ainſi le profil tranſverſal ou la coupe de ces digues ſera un trapèze tel que ABCD (fig. 26), dans lequel EF eſt la ligne des plus hautes eaux, & AG ou DH eſt à GB ou HC :: 2 : 3. Et dans le cas ou la digue ſeroit en gravier, KLMN exprimeroit le conroi en terre (345).

Conſtruction des digues perpendiculaires hors de l'eau.

348. L'exécution de la chauſſée ne ſouffre aucune difficulté lorſqu'il n'y a pas de l'eau dans l'endroit où elle doit être conſtruite : elle n'en ſouffre pas davantage, s'il n'y a de l'eau que dans les crues; mais lorſqu'il y en a habituellement, il eſt à propos de détourner préalablement la branche qui y eſt établie. Nous donnerons plus bas les moyens à employer pour cet objet.

Conſtruction des digues perpendiculaires dans l'eau. Fig. 27.

349. S'il n'étoit pas poſſible de mettre à ſec l'emplacement propoſé, comme, par exemple, ſi la rivière n'avoit pas un lit majeur, la conſtruction en ſeroit plus difficile; mais elle pourroit néanmoins s'effectuer par la méthode ſuivante.

Soit ABCD (fig. 27.) le lit de la rivière, & GHLK la ſuperficie ſur laquelle on doit établir l'empattement de l'ouvrage; on cernera cet eſpace par des pieux plantés à environ 15 pouces, plus ou moins, de diſtance les uns des autres, ſur les lignes GH, HL & LK.

Si la rivière n'eſt pas rapide, on clayonnera ces paliſſades, & enſuite on comblera l'eſpace qu'elles renferment, avec du gravier ou de la pierraille, & à défaut avec de la terre. On formera ainſi une platte-forme au-deſſus de la ſurface des eaux, & ſur cette platte-forme on conſtruira la chauſſée ainſi que ſur un emplacement à ſec.

Si la rivière a beaucoup de rapidité, on n'aura pas beſoin de treſſer la paliſſade; mais on jettera de la blocaille en amont de GH & de KL & le long de HL intérieurement. Les pieux ſeront deſtinés à arrêter ces blocs contre l'action du courant. Lorſqu'ils ſeront parvenus à la ſurface des eaux, on remplira le vuide reſtant ſur GHLK avec du gravier ou de la pierraille, juſqu'au

juſqu'au-deſſus de l'eau & ſur cette platte-forme on conſtruira la digue.

Au ſurplus, on doit obſerver de n'exécuter ce genre de travaux que dans le tems des baſſes eaux, & d'en preſſer l'exécution pour ne pas ſe laiſſer ſurprendre par les crues.

ARTICLE II.

Des digues à pérés.

Il y a trois ſortes de pérés.

350. Par digues à *pérés*, on entend les digues en terre ou gravier dont le parement expoſé à l'action du courant, eſt revêtu en pierre sèche. On diſtingue trois ſortes de pérés.

Le péré de la première ſorte eſt compoſé de pierres d'appareil, ayant la forme de dalles. Ces pierres ſont fort en uſage ſur la Durance dans la partie inférieure de ſon cours; elles ont ordinairement de 6 à 7 pieds de longueur, au-delà de 2 pieds de largeur, & au moins 18 pouces d'épaiſſeur. Nous donnerons à cette ſorte de péré le nom de *péré en dalles.*

Le péré de la deuxième partie eſt compoſé de pierres en blocs bruts & de forme irrégulière; on l'emploie quand on n'a pas en ſa diſpoſition des carrières d'où l'on puiſſe tirer des dalles. Nous l'appellerons *péré en blocaille.*

Le péré de la troiſième ſorte eſt compoſé de pierres brutes & d'une groſſeur au-deſſous des blocs. On y a recours lorſqu'on manque de dalles & de blocs. Nous l'appellerons *petit péré.*

Conditions & qualités générales des digues à pérés.

351. Les digues à pérés peuvent être employées très-utilement par-tout & particulièrement aux éperons des digues perpendiculaires, aux chauſſées des chemins établis dans le lit des rivières &c.; mais elles exigent diverſes précautions qui diffèrent ſuivant l'eſpèce de péré. En général, on doit regarder comme principe fondamental que les pérés ſoient compoſés des plus groſſes pierres poſſibles diſpoſées de façon que, quoiqu'il

arrive, elles mettent constamment la chaussée à couvert de l'action des eaux. Par conséquent, comme le courant est censé s'établir à leur base & les affouiller, il faut que les pérés soient mis à l'abri des affouillemens par des *barmes* ou *crêches* qui les soutiennent au besoin.

Nous allons entrer dans les détails qui appartiennent à chaque espèce de péré respectivement en commençant par la première.

Construction des digues à péré en dalles.

352. Les pierres des pérés en dalles doivent être simplement couchées le long du talus de la chaussée sur leur plus grande face, de façon que leur longueur soit dans le sens de la pente du glacis. Il est à propos qu'elles aient toutes la même largeur, qu'elles soient placées, bout-à-bout, les unes à la suite des autres, sur la hauteur du talus, de manière qu'elles ne soient point en liaison & que leurs joints, dans ce sens, se correspondent, & enfin que ces mêmes joints soient aisés & ouverts d'environ 2 pouces ou plus.

On doit aussi observer que le talus de la chaussée soit le plus rapide possible. Ainsi, s'il est en terre, comme les terres ont un certain degré de tenacité, sur-tout lorsqu'elles ont été battues ou foulées, l'angle formé par la ligne du talus & celle du niveau devroit excéder 45 degrés. Si, au contraire, il est en gravier, il suffira qu'il prenne l'angle naturel.

Enfin, lorsqu'on exécutera ces ouvrages sur des rivières fort rapides, dont les crues seront fort longues, & qui, par conséquent, affouilleront beaucoup, on ne se bornera pas à une simple assise de dalles; mais on en emploiera deux, trois & même quatre & plus, suivant les circonstances & la nature de la rivière ou la profondeur des affouillemens, observant toujours de les placer, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, & d'interposer une couche de sable grossier de deux poqucs d'épaisseur.

Fig. 28. Ainsi ABCD (fig. 28.) est la coupe transversale de la chaussée, & BÇ le talus exposé à l'action du courant. On y voit

quatre assises de dalles représentées par les nombres 1, 2, 3 & 4 respectivement, placées les unes sur les autres, & séparées par une couche de sable.

Dans la figure 29, EFGH représente le plan du talus BC de la figure 28. On y voit que les pierres K, L, M sont placées bout à bout dans le sens de leur longueur & qu'elles se correspondent exactement. On y voit aussi qu'il en est de même des pierres N, P, Q, & que ces trois dernières sont séparées des trois premières par un joint qui laisse un certain vuide dans l'entre-deux des deux files. Fig. 29.

La raison de cette construction est simple & se présente d'elle-même; car, si l'on suppose que la berme dont nous parlerons bientôt & qui défend la base de la digue ABCD (fig. 28e.) s'enfonce par l'effet de la corrosion & de l'affouillement, l'assise 4 n'étant plus soutenue, descendra & suppléera à la berme; si le volume est insuffisant, elle sera suivie de l'assise 3, & ensuite de l'assise 2.; d'où il suit que le talus de la chaussée ne sera jamais à découvert, & que si l'on prévoyoit des progrès effrayans dans les affouillemens, on auroit le tems nécessaire pour remplacer les assises qui sont descendues, jusqu'à ce qu'enfin l'ouvrage eût pris une assiette invariable par la stabilité du fond; par conséquent, il est essentiel de faciliter la descente des dalles. Fig. 28.

Or, 1°. plus il y aura de pente dans le talus de la chaussée, plus la descente des dalles sera facile.

2°. Elle sera encore facilitée par le lit de sable grossier interposé entre les assises 1, 2, 3 & 4: car les grains de ce lit de sable seroient comme des rouleaux pour faire glisser les assises supérieures sur les inférieures.

3°. Elle sera facilitée enfin par l'intervalle des joints dans le sens de la pente du talus, tel que celui qui sépare les pierres K, L, M, des pierres N, P, Q, (fig. 29e.) & qui rend les trois premières indépendantes de leurs voisines. Fig. 29.

Donc, par cette conſtruction, les dalles auront conſtamment la liberté de gliſſer ſucceſſivement les unes ſur les autres ſans ſe gêner mutuellement, & tout ſera défendu en même-tems, la baſe & le talus. Par conſéquent c'eſt cette forme qu'il paroît qu'on doit adopter dans les digues à péré en dalles.

C'eſt d'ailleurs ce que l'expérience nous a appris dans la conſtruction des digues ſur la Durance.

La baſe ne doit pas être défendue par un pilotage.

353. Puiſque la baſe doit eſſentiellement être miſe à couvert des affouillemens, le premier moyen qui ſemble ſe préſenter de lui-même eſt le pilotage. Mais outre que ce moyen eſt exceſſivement coûteux dans les rivières ſujettes à corroder & à affouiller le fond, telles que toutes les rivières qui charient du gravier, il ſeroit inſuffiſant pour cet objet; car il n'empêcheroit par les eaux d'agir dans l'entre-deux des pilotis juſqu'à ce qu'elles fuſſent parvenues au droit de la chauſſée qui, dès-lors ſe trouvant minée, ſeroit ruinée à fond. Il n'y auroit que le cas où l'on emploieroit des pal-planchers, que le pilotage pourroit remplir cet objet. Mais le nôtre eſt d'économiſer dans les frais de conſtruction, &, aſſurément, en employant ce moyen, nous n'en prendrions pas la route.

Deſcription des bermes à ſubſtituer aux pilotages.

354. Le ſecond moyen de garantir la baſe des digues, & qui, ſans contredit, eſt le plus ſimple, le plus ſûr & le plus économique ſur ces ſortes de rivières, & même ſur toutes les rivières poſſibles, conſiſte dans l'emploi des *bermes* ou *crêches*. Les *bermes* ne ſont autre choſe qu'un tas de pierres de même volume que celles qui compoſent le péré, & qu'on place à la baſe de la digue & au-devant du parement. A meſure que le courant affouille, ces pierres deſcendent; mais elles ne peuvent pas être entraînées, ſoit (208) parce qu'elles ſont trop volumineuſes, ſoit ſur-tout parce qu'elles ſe ſoutiennent mutuellement. Elles deſcendront donc juſqu'à ce que les plus baſſes ſe ſoient enfoncées en totalité ou en partie dans le gravier du fond après l'affouillement, & dans cet état, elles ſerviront de

baſe aux pierres ſupérieures, qui, pour lors, ne permettront plus au courant d'agir ſur la baſe de la digue. Ainſi, quand les choſes ſeront parvenues à ce point, on peut être aſſuré que la ſtabilité de la digue ſera à toute épreuve.

Détermination des dimenſions des bermes.

355. De-là on pourra évaluer, au moins par approximation, la hauteur à donner aux bermes: car, puiſqu'elles doivent combler avec uſure le vuide occaſionné par l'affouillement, ſi, par obſervation ou par quelque moyen déduit des principes que nous avons établis, on détermine la profondeur de la corroſion qui doit avoir lieu au pied de la digue, & qu'à cette profondeur, on ajoute 1°. la plus baſſe pierre qui (208) eſt cenſée enterrée dans le gravier; 2°. les deux plus hautes qui doivent couvrir le pied de la digue; on aura la hauteur totale approchée de la berme.

Dimenſions des bermes.

Quant à la largeur, on ſent qu'elle doit encore être proportionnée à la profondeur de l'affouillement. Car, en deſcendant, les pierres prendront un talus quelconque, qu'on peut ſuppoſer de 45 degrés, & dont l'empattement ſera en proportion avec cette profondeur.

Il ne reſte donc plus que la largeur du couronnement de la berme à déterminer. Cette détermination dépend de la nature de la rivière & de l'expérience. Plus la rivière ſera conſidérable & rapide, plus cette largeur doit être grande, pour amortir, autant qu'il ſera poſſible, par les parties ſaillantes des pierres & par la diminution de profondeur des eaux, l'action du courant ſur la digue pendant les crues. Sur la Durance, par exemple, il paroît prouvé par l'expérience, que cette largeur doit être d'environ 9 pieds.

Ainſi, dans la figure 28, ſuppoſons que le gravier s'élevât primitivement juſqu'à la ligne RY, & que, par l'effet de la corroſion, le fond ſe ſoit abaiſſé juſqu'à la ligne VX; que VS repréſente la hauteur de l'aſſiſe enterrée dans le gravier du

Fig. 28.

fond (208), & que l'angle STY ſoit de 45 degrés, le trapèze RSTY ſera la ſection approchée de la berme.

Au ſurplus, comme cette partie eſt eſſentielle, on doit obſerver qu'il vaut mieux pécher par excès que par défaut.

Dans les digues à péré de dalles, les bermes ſeront auſſi en dalles. Fig. 28.

356. Dans le cas dont nous parlons, & où le péré doit être en dalles, la berme RSTY ſera auſſi en dalles. Les dalles de la baſe pourroient être couchées, & les ſupérieures inclinées: mais comme elles ſont toutes deſtinées à deſcendre, pour faciliter cette deſcente & maintenir leur arrangement, autant qu'il ſera poſſible, il ſera mieux de les incliner toutes ſous le même angle que les aſſiſes 1, 2, 3 & 4 du parement de la chauſſée: alors il n'y aura que la tête des plus baſſes qui s'enfoncera dans la partie VSTX du fond au-deſſous de la ligne VX (208).

Revenons à préſent à nos digues à pérés en dalles.

357. Lorſque la digue devra ſervir d'éperon à une chauſſée perpendiculaire, telle que celle dont nous avons parlé à l'article précédent, la hauteur & le couronnement de la chauſſée ABCD (fig. 28) ſeront les mêmes que la hauteur & la largeur du couronnement de la chauſſée perpendiculaire ABCD (fig. 26). Les talus ſeront pareillement les mêmes par-tout où il n'y aura pas de pérés, mais dans la partie à pérés, ces talus ſeront plus rapides, conformément à ce que nous avons dit (352); par conſéquent, on voit que *le couronnement doit être ſupérieur aux plus hautes eaux de la rivière.*

Cas où la digue ſeroit deſtinée à ſervir de chauſſée pour un chemin.

358. Si la digue eſt deſtinée à ſervir de chauſſée pour un chemin à établir dans le lit d'une rivière, la largeur de ſon couronnement ſera égale à celle qu'on voudra donner au chemin; à cela près, tout le reſte ſera le même que dans le cas du n. 357.

Cas où la digue ſeroit oblique au courant. Fig. 28.

359. La même identité aura encore lieu en tout point avec les chauſſées perpendiculaires, & en ſe conformant à ce qui eſt dit au même n. 357, ſi par quelque raiſon que ce fût la digue

devoit être oblique à la direction du courant ; dans ce cas, on auroit seulement soin d'observer (232) que l'affouillement au pied de la digue seroit plus profond, & que pour cette raison (355) la quantité de matériaux de la berme RSTY (fig. 28) seroit plus considérable.

Cas où la digue doit être construite hors de l'eau. Fig. 28.

360. Lorsque la digue devra être construite sur un emplacement à sec, on creusera des fondations, autant que les eaux qu'on rencontrera à une certaine profondeur pourront le permettre pour l'établissement des dalles, tant des assises 1, 2, 3, 4 du péré, que de celles de la berme. Ce sera dans ces fondations qu'on placera les matériaux tant de l'un que de l'autre.

Fig. 30.

Ainsi soient AB (fig. 30) la surface du gravier, CD la ligne à laquelle on rencontre les eaux qui filtrent à travers le gravier, EF la ligne jusqu'à laquelle on pourra creuser, GH la ligne des plus hautes eaux de la rivière dans les grandes crues, & KL celle à laquelle on devra porter le couronnement de la chaussée AMNP. On creusera d'abord l'espace PQFB en talutant PQ suivant la ligne PN, & ce sera à partir de la ligne QF qu'on exécutera tant le péré NQRS que la berme RFVT conformément à ce qui a été dit ci-dessus.

Dans ce cas les déblais de la tranchée PQFB serviroient au remblai de la chaussée AMNP.

Cas où la digue doit être construite dans l'eau.

361. Lorsqu'on doit construire dans l'eau, il y a plus de difficultés. Cependant quoique ces difficultés entraînent plus de dépenses, il faut tâcher d'y apporter la plus grande économie.

En examinant la chose de près, on verra que la question se réduit à préparer, au-dessus des eaux, une plate-forme sur laquelle on puisse établir les ouvrages & qui leur serve de base. Cette plate-forme ne peut être faite que par encombrement, & cet encombrement doit réunir la plus grande solidité à la plus grande économie.

Or ici il se présente divers cas, savoir: 1°. celui où la digue doit

être parallèle au courant; 2°. celui où elle doit le couper, ſoit obliquement ſoit perpendiculairement; &, dans l'un & l'autre cas, le courant peut avoir plus ou moins de rapidité. Or nous allons examiner tous ces cas, & tâcher d'allier, dans chacun, l'économie avec la ſolidité.

Conſtruction d'une digue parallèle le long d'une berge. Fig. 31.

362. Suppoſons d'abord qu'il ſoit queſtion de conſtruire la digue dans l'eau, le long de la berge, & parallèlement au courant. Soient la rivière ABCD (fig. 31.) EGHF la coupe de ſon lit, EF la ligne de la ſurface des eaux, DC la berge à défendre par la digue à conſtruire, & MNKL l'empattement de cette digue dans le lit du courant. Puiſqu'il s'agit de mettre la berge DC à couvert, on ſuppoſe, par-là même, que le courant la corrode, & que, par conſéquent (105 2°.), le lit y eſt plus bas, ainſi qu'on le voit dans la ſection EGHF. On fera donc gliſſer dans l'eau, le long de la berge CD, des dalles les unes devant les autres, & un peu inclinées ſur l'eſpace MNKL, juſqu'à ce qu'elles paroiſſent à la ſuperficie du courant. Ce ſera alors ſur cette plate-forme qu'on établira le reſte des ouvrages, en obſervant de laiſſer en ſaillie la largeur PQ, néceſſaire à la berme qu'on exhauſſera convenablement. On voit dans la coupe le profil OPQRSTFH des travaux.

Dans ce cas, ſi le courant eſt rapide, on plantera une file de pieux ſur LK, pour empêcher que l'eau n'entraîne & ne dérange les dalles pendant la conſtruction, & l'on commencera les travaux en L en remontant vers D; mais ſi le courant n'eſt pas fort, on n'aura pas beſoin de pieux, & l'on pourra indiſtinctement commencer les travaux en L ou en M, & les diriger en amont ou en aval à volonté.

Ainſi ce cas, comme l'on voit, eſt peu ſuſceptible d'économie.

Simplification de cette conſtruction.

363. Dans ce même cas, ſi la berge qu'on veut ſouſtraire à la corroſion fait partie des crémens de la rivière, & que la digue à conſtruire ait principalement pour objet d'arrêter les

les progrès de cette corroſion, on peut opérer d'une manière plus régulière que celle que nous venons de preſcrire. Pour cela, à la diſtance de quelques toiſes de DC & parallèlement à cette ligne, ou dans la direction qu'on voudroit donner à cette digue, on ouvriroit une tranchée dans les terres, & l'on conſtruiroit la digue conformément à ce qui a été dit au n. 360.

Conſtruction d'une digue oblique dans l'eau.

364. Suppoſons à préſent que la digue à conſtruire dans l'eau doive être oblique ou perpendiculaire au courant, pour obvier à la perte des matériaux par l'action des eaux, & en même tems pour économiſer autant qu'il ſera poſſible, on conſtruira l'empattement de la digue & de la berme, & on formera la plate-forme au-deſſus de la ſurface du courant, conformément à ce qui a été dit au n. 349.

Venons aux digues à *péré en blocaille*.

Cas où l'on emploie les digues à péré en blocaille.

365. Nous avons dit (4) que la mer ne s'étoit jamais élevée au-deſſus de 230 toiſes par rapport à ſon niveau actuel; par conſéquent, dans tous les pays ſupérieurs à cette hauteur, on ne trouvera pas des pierres d'appareil pour les employer comme dalles. Il y a auſſi, au-deſſous de cette hauteur, bien des endroits où l'on n'en trouve point. Dans tous ces cas, on emploie les pérés en blocailles, lorſqu'il ſe rencontre quelques montagnes à portée d'où l'on peut tirer des blocs.

Conſtruction de ces digues.

L'emploi de ces blocs tant pour les pérés que pour les bermes eſt fondé ſur le même principe que celui des dalles, c'eſt-à-dire qu'il faut que le parement de la chauſſée & ſa baſe ſoient conſtamment à couvert de l'action des eaux: d'où il ſuit que, dans la conſtruction de ces ſortes de digues, on doit:

1°. Employer double ou triple péré ſuivant les circonſtances & la nature de la rivière ſur laquelle on opère.

2°. Donner au péré le talus le plus rapide poſſible pour faciliter la deſcente des blocs lorſque la rivière affouillera.

3°. Faire en ſorte que les blocs ne ſoient pas trop ſerrés les

uns contre les autres & qu'ils ne ſe gênent pas mutuellement dans leur deſcente.

Du reſte les digues à péré de blocaille ſe conſtruiſent de la même manière que celles à péré de dalles. Ainſi nous ne nous étendrons pas davantage ſur cet objet.

Digues à petit péré ; cas où on les emploie ; leur conſtruction.

366. Lorſqu'on ne peut ſe procurer ni des dalles ni des blocs, on a recours aux digues à petit péré. Ces digues ont beſoin d'une attention particulière ; car il faut que le talus de la chauſſée ſoit conſtamment couvert : & comme les pierres n'ont pas aſſez de maſſe pour réſiſter par elles-mêmes à l'action du courant, il faut qu'elles ſe ſoutiennent mutuellement. D'où il ſuit qu'elles doivent former un pavé ſerré, de façon qu'elles ne puiſſent pas en être détachées par le courant ; car on ſent que leur force conſiſte dans l'union & l'aſſemblage, & que l'enlèvement d'une pierre entraîneroit néceſſairement la ruine de l'ouvrage.

Par-là même que les pierres ne ſont pas aſſez volumineuſes, on ne peut pas, dans ce cas, les employer à la berme. Auſſi cette partie de la digue ne peut guères alors être faite qu'en pilotage : pour cela, on plantera, tout le long du péré, au pied de la digue, un double rang de pilotis le moins eſpacés qu'il ſera poſſible, & on en remplira l'entre-deux, ſoit de tunage, ſoit de pierres aſſez conſidérables pour ne pouvoir pas s'échapper entre les pilotis.

Ce genre de péré, étant le plus foible de tous, il ne ſeroit pas mal à propos de le doubler ou tripler ſuivant les circonſtances ; en quoi il faut ſe conformer à la nature du courant auquel on veut s'oppoſer. Dans ce cas, ſi, par quelque accident que ce ſoit, le premier péré venoit à être dégradé, il reſteroit le ſecond.

C'eſt encore d'après le principe, que les pierres ſont peu volumineuſes, que le glacis de la chauſſée doit, dans ce péré, avoir le moins de rapidité ou le plus d'empattement poſſible.

Par-là, les pierres auront moins de tendance à descendre & se soutiendront beaucoup mieux.

Moyen simple de transformer les digues à petit péré en digues à péré en dalles.

367. Dans le cas de ces mêmes pérés, on pourroit suppléer par l'art à ce qui manque au volume des pierres. Pour cela, il n'y auroit qu'à substituer au péré un mur en bâtisse, couché sur le glacis, & dont l'épaisseur seroit d'environ 18 pouces, plus ou moins, suivant les circonstances. Le parement visible de ce mur seroit en forme de pavé. On ne construiroit ce mur que par pans d'environ 6 ou 7 pieds de largeur & on sépareroit tous ces pans par un vuide de 2 ou 3 pouces. Ils seroient établis sur une couche de sable ou de gravier dont on couvriroit préalablement le talus de la chaussée qui, dans cette construction, devroit être assez rapide pour permettre à ces pans de descendre en cas d'affouillement.

On pourroit aussi employer plusieurs pérés semblables, les uns sur les autres. Dans ce cas on auroit soin d'en séparer les assises par une couche de sable, ainsi que nous l'avons indiqué (352) pour les pérés en dalles.

Nous devons observer que cette construction ne peut avoir lieu que pour les digues qu'on exécute à sec; car il est visible qu'il seroit impossible d'exécuter le péré dans l'eau.

Quant à la berme à employer, sa construction dérive du même principe. Après en avoir fixé les dimensions suivant ce que nous avons dit au n. 355, on creusera ses fondations & celles du péré conformément à ce qui a été dit au n. 360; mais on ne les portera que jusqu'à la surface CD (fig. 30) des eaux de filtration. A cette profondeur on construira la berme DXTV par couches & par pans en maçonnerie, ainsi qu'on aura déjà traité le péré NSXY.

ARTICLE III.

Des Digues à pierre sèche.

Digues à pierre sèche en dalles ou en blocaille.

368. Les digues dont nous parlons n'ont ni chauſſée ni péré; elles ſont entièrement en pierre, & comme ces pierres ne ſont point liées entre elles par aucun mortier, on ſent qu'elles doivent être compoſées des plus gros matériaux poſſibles; conſéquemment elles ne peuvent être qu'en dalles ou pierres d'appareil, & en blocaille. Ce ſont ces ſortes de digues qu'on a preſque toujours employées ſur la Durance. Nous allons examiner ſucceſſivement leur conſtruction, leurs vices & leur réforme, en commençant par les digues à pierres d'appareil ou en dalles.

Conſtruction des digues en dalles, uſitée ſur la Durance. Fig. 32.

369. Nous avons déjà parlé (350) de la forme & des dimenſions des pierres. La manière dont on les emploie eſt repréſentée par la figure 32, dans laquelle ABCD eſt le plan de la baſe, & EFGH la coupe tranſverſale priſe ſur la ligne quelconque KL : FG eſt le parement du côté de la rivière. On voit dans cette figure :

1°. Que les pierres ſont employées ſur leur lit par aſſiſes réglées;

2°. Que chaque aſſiſe eſt compoſée de trois parties AMQD, MNPQ & NBCP;

3°. Que les pierres des parties en parement ſont employées par boutiſſes & que chaque pierre y fait parpin;

4°. Que dans la partie intermédiaire MNPQ qu'on appelle *la clef*, on ne ſait pourquoi les pierres y ſont employées par carreaux.

5°. Enfin que celles du parement du côté de la rivière ont une très-petite retraite à chaque aſſiſe; cette retraite, ſuivant l'uſage, n'eſt guères que d'un pouce ou deux.

Quelquefois on ſupprime *la clef* MNPQ. Il y a même des cas où l'on n'emploie que la partie en parement BCPN. Mais la conſtruction la plus générale eſt telle que nous venons de la décrire.

Dans tous les cas, pour mettre la digue à couvert des affouillemens, on forme une berme au-devant du parement FG avec des pierres de même dimenſion que celles de l'ouvrage. Ces pierres ſont accumulées dans le courant au pied de la digue. Dans le pays, on leur donne le nom de *briſants*, parce qu'elles ſont deſtinées à briſer le choc des eaux.

370. Cette conſtruction paroît être vicieuſe ſous les rapports ſuivans. Vices de cette conſtruction. Fig. 32.

1°. En général elle abſorbe beaucoup trop de matériaux, & par-là, elle devient trop coûteuſe.

2°. La clef, qui par ſa dénomination, devroit lier les pierres des deux paremens, les iſole au contraire & les rend indépendantes les unes des autres.

3°. Il eſt rare que le volume des matériaux de la berme ſoit proportionné à la profondeur des affouillemens.

4°. Le parement FG n'a pas aſſez de retraite, d'où il réſulte qu'à la ſuite des affouillemens, l'ouvrage s'écroule.

Cela eſt conſtaté par l'expérience. Il y a peu de digues de cette nature ſur la Durance qui n'aient été ruinées & reconſtruites.

371. Si l'objet de la digue exige abſolument que le corps de l'ouvrage ſoit entièrement en pierre, il ne faut jamais perdre de vue que les matériaux du parement doivent être diſpoſés de manière qu'ils puiſſent conſtamment s'accommoder à l'état de la rivière & mettre les travaux à couvert des affouillemens. Par conſéquent il eſt aiſé de voir, qu'en pareil cas, il faut adopter le profil repréſenté par la fig. 33; ABCD eſt le corps de la digue, BCGE en forme le pié en dalles & FHKL en eſt la berme. Ainſi cette conſtruction ſe rapporte aux digues à Réforme de cette conſtruction. Fig. 33.

pérés en dalles, dont nous avons parlé dans l'article II auquel nous renvoyons.

Simplification à y introduire. Fig. 33.

372. Puiſque le corps ABCD de la digue doit être conſtamment mis à couvert par le péré BEGC, on voit, au premier abord, qu'il eſt inutile d'y employer des pierres d'appareil & qu'il ſuffira de le conſtruire en moëllon ordinaire qu'on peut ſe procurer à bien moins de frais. Par ce moyen, les travaux ſeront conſidérablement ſimplifiés, & il en réſultera une grande économie.

Venons aux digues en blocaille.

Deſcription & défauts des digues en blocaille, uſitées dans la ci-devant Provence.

373. Les digues en blocaille uſitées ſur la Durance & les autres rivières de la ci-devant Provence, ne ſont autre choſe qu'un ſimple mur, plus ou moins épais, conſtruit ſur le gravier, dont le parement a très-peu de retraite & dont la baſe eſt défendue par une berme.

Le vice général de ces digues conſiſte dans l'inſuffiſance du volume de la berme & dans celle de la retraite du parement; d'où il réſulte que, lors des affouillemens, l'ouvrage s'écroule, & les matériaux, s'éboulant dans le courant, forment alors la véritable berme ſur laquelle on eſt obligé de conſtruire une ſeconde digue.

Réforme de cette conſtruction. Fig. 33.

374. Pour réformer ce genre de digue, on doit encore adopter le profil de la fig. 33, en obſervant que, dans le cas dont il s'agit, il n'y a point de pierre d'appareil & que tout eſt en blocaille. Dans cette figure, le corps ABCD de la digue ſera un mur dont le parement BC aura la retraite convenable aux pérés en blocaille. BEGC en ſera le péré & FHKL la berme. Cette conſtruction, ſe rapportant alors aux digues à péré en blocaille, on ſe conformera à ce que nous avons dit à ce ſujet dans l'article précédent.

Simplification à y introduire. Fig. 33.

375. Dans cette conſtruction, le corps ABCD de la digue étant toujours garanti par le péré, on pourra le ſimplifier ainſi que nous l'avons dit au n. 372.

ARTICLE IV.

Des Digues en maçonnerie.

Cherté des digues en maçonnerie.

376. Si les digues en maçonnerie ſont les plus ſolides, elles ſont auſſi les plus coûteuſes: car elles exigent impérieuſement d'être établies ſur le ferme; & comme il eſt aſſez rare de le rencontrer dans le lit des rivières dont nous parlons (154), il s'enſuit qu'il faut, le plus ſouvent, recourir au pilotage, moyen extrêmement diſpendieux. Ainſi ces ſortes de digues ne doivent être employées que dans les cas où la choſe eſt indiſpenſablement néceſſaire. Au ſurplus, comme ce ſujet a déjà été traité par divers auteurs, nous n'en dirons ici qu'un mot.

Conſtruction & dimenſions des digues en maçonnerie. Fig. 34.

377. Les digues en maçonnerie ſe diſtinguent par leur parement. Les unes ſont parementées en taille & les autres en moëllon. Dans ce dernier cas, le moëllon doit être piqué; ſans cette précaution, le parement ſeroit bientôt dégradé.

Le choix & le profil de ces deux ſortes de digues ſont ſubordonnés à la nature des rivières ſur leſquelles on doit les employer.

Si la rivière a beaucoup de rapidité, ſi les crues ſont longues ou fréquentes, ou ſi la digue doit être habituellement expoſée à l'action du courant, le parement doit être néceſſairement en taille.

Si, au contraire, la rivière a peu de vîteſſe, que les crues ſoient courtes ou rares, ou ſi la digue ne doit eſſayer l'action des eaux que momentanément, elle pourra n'être parementée qu'en moëllon piqué.

Quant au profil de l'une & de l'autre de ces digues, il doit avoir la figure d'un trapèze ABCD (fig. 34). Les dimenſions de ce trapèze varient ſuivant les circonſtances. On convient ſeulement que le parement BC, expoſé à l'action de l'eau, doit

avoir beaucoup moins de retraite que le parement poſtérieur AD pour empêcher que la digue ne ſoit renverſée.

Les dimenſions de CD & de AB ne peuvent pas être aſſignées généralement. On ſent qu'elles doivent être d'autant plus grandes que l'action des eaux ſera plus forte; or cette action dépend de la maſſe d'eau & de la pente de la rivière (170), ainſi que ſa direction relativement à celle de la digue (327). Tout ce qu'on peut dire, c'eſt que ſi la digue n'éprouvoit aucun choc, & qu'elle n'eſſuyât que la force de preſſion comme un mur de réſervoir, CD devroit alors être égale à la profondeur correſpondante des eaux, & AB pourroit être = 0, ainſi qu'on peut le déduire du n. 340, & comme l'expérience le confirme. Par conſéquent c'eſt à l'ingénieur à conſulter les localités & les circonſtances, & à fixer le tout d'après ſes connoiſſances & les données qu'il aura.

Du reſte, on doit conſulter ce que nous avons dit à ce ſujet au n. 343 3°., auquel nous renvoyons.

ARTICLE V.

Des Digues en Gabions.

Deſcription des gabions. Fig. 35.

378. Il y a des cas où les pierres manquent abſolument pour la conſtruction des digues; alors on ſe ſert du gravier même de la rivière & l'on conſtruit des digues avec des *gabions*. C'eſt ainſi qu'on appelle des cônes faits avec des lattes ou perches qui ſe réuniſſent en un point & qui ſont aſſemblées entr'elles par une treſſe d'oſier ou de ſaule comme celles des paniers. On en voit la forme & la contexture dans la figure 35.

Conſtruction des digues en gabions.

379. Lorſqu'on veut faire uſage de ces ſortes de digues, on place les gabions vuides, à côté les uns des autres, ſur la ligne de la digue, la pointe vers le courant, & enſuite on les remplit de gravier. Si la rivière eſt forte, on en place deux, trois & même

même quatre rangs, les uns ſur les autres. La grandeur des gabions varie ſuivant les rivières. En général les grandes rivières exigent de plus grands gabions que les petites. On en ſent la raiſon.

380. L'avantage qu'on a dans les digues en gabions, c'eſt que les ouvrages ſont bientôt finis. Mais cet avantage eſt balancé par beaucoup d'inconvéniens. En effet:

Avantages & inconvéniens des digues en gabions.

1°. Lorſque la rivière affouille & que les gabions deſcendent, il arrive ſouvent qu'ils chavirent & ſe vuident.

2°. Il n'eſt pas rare que l'action du courant en créve la pointe, & alors ils ſe vuident par la rupture.

3°. Dans deux ou trois ans au plus, les lattes & les treſſes ſont pourries, &, par-là, la digue eſt détruite. D'où il réſulte qu'il faut, tous les deux ou trois ans, placer un nouveau rang de gabions; ce qui devient à la fin fort coûteux.

381. De-là on doit conclure qu'il ne faut employer ce genre de digues que dans le cas où il s'agit d'arrêter les progrès des ravages d'une rivière, pour pouvoir enſuite ſe livrer à des travaux plus ſolides: dans ce même cas, on doit ſur-tout faire attention à deux choſes. La première eſt que la pointe des gabions ſoit aſſez bien conditionnée, par des liens, pour que le courant ne puiſſe pas l'endommager. La ſeconde, que les gabions ſoient placés de manière qu'ils ne puiſſent pas chavirer ni ſe vuider par leur entrée. Pour cela on les contiendra avec des pieux qu'on plantera de chaque côté. Nous pouvons ajouter qu'il ſeroit bien eſſentiel de leur donner une forme & des dimenſions à pouvoir les fermer.

Dans quel cas & pour quel objet on doit les employer.

ARTICLE VI.

Des Digues en encaiſſement.

Deſcription des encaiſſemens. Fig. 36.

382. Lorſque le courant eſt ſi rapide que les digues précédentes deviennent inſuffiſantes pour le modifier, ou lorſque la pierre d'appareil, ou la blocaille eſt extrêmement éloignée, on emploie les digues par encaiſſement. Ces digues ſont particulièrement uſitées dans les pays des montagnes, à cauſe de la grande rapidité de leurs rivières. Dans le département des Baſſes-Alpes, elles ſont connues ſous le nom d'*arches*, dénomination tirée du mot latin *arca*, qui ſignifie un *coffre* ou un encaiſſement qui en a à-peu-près la forme.

Ces encaiſſemens ont la forme d'un parallélipipède rectangle, d'environ 15 ou 18 pieds de longueur, ſur une toiſe de largeur & de hauteur, plus ou moins. Ils ſont formés de madriers bruts aſſemblés, ainſi que le fait voir le parallélipipède BADCFE GH (fig. 36). On les conſtruit ſur la place avec du bois de pin ou de chêne. On les remplit, par la face ouverte ADEG, de pierres aſſez groſſes pour ne pouvoir pas paſſer par les intervalles de la charpente: lorſqu'ils ſont pleins, on ferme la face ADEG, afin qu'en chavirant ils ne puiſſent pas ſe vuider.

Leur ſolidité.

D'après cette conſtruction, on ſent que l'enſemble forme une maſſe ſi lourde, que le courant le plus violent ne ſauroit l'entraîner. Tout ce qui arrive, c'eſt que l'encaiſſement étant affouillé, tombe dans le courant & s'enfonce juſqu'à un certain point dans le gravier (208); & comme ces bois ne ſe corrompent pas dans l'eau, il s'enſuit, qu'alors ces ſortes d'ouvrages doivent être conſidérés comme des blocs de même volume & dont la maſſe eſt au-deſſus de l'action des eaux: qu'on en établiſſe, bout-à-bout, un certain nombre, ſur la ligne de la digue à conſtruire, & l'on aura une digue à toute épreuve.

383. A défaut de bois de pin ou de chêne, on peut employer tout autre bois, même le peuplier qu'on rencontre par-tout le long des rivières. Dans ce cas, on doit bâtir les matériaux de rempliſſage avec de bon mortier; l'encaiſſement pourrira bientôt; mais avant qu'il ſoit tombé en corruption, la bâtiſſe aura fait corps, & l'enſemble produira le même effet que l'encaiſſement.

Moyen de généraliſer l'uſage des digues par encaiſſemens.

ARTICLE VII.

Des Digues en bois.

384. Les digues en bois les plus connues ſont: 1°. les tunages; 2°. les arbres de revêtement; 3°. les paliſſades; 4°. les chevalets ou chevrettes. Nous ne parlerons pas ici des tunages dont l'uſage ſe rapporte bien moins aux rivières qu'aux canaux de navigation; mais nous allons examiner les trois autres genres de réparations.

Diverſes ſortes de digues en bois.

385. Lorſque la Durance, dans ſes crues, corrode ſes berges, les riverains ſont dans l'uſage de couper les arbres les plus branchus & les plus à portée, & de les jetter dans l'eau, la tête en en-bas, aux endroits où le courant agit avec le plus d'énergie. Si l'arbre eſt au bord de l'eau, on ne le coupe qu'à demi, & on le laiſſe tenir à la tige par une partie de ſes fibres & de ſon écorce. Si, au contraire, il en eſt éloigné, on l'arrête avec une corde à un pieu qu'on enfonce profondément au bord de la rivière, vis-à-vis l'endroit où l'arbre doit être jetté dans l'eau. Il eſt rare que cette méthode ne produiſe pas ſon effet, & ne mette pas la berge à l'abri de la corroſion. Les branches forment des obſtacles multipliés qui atténuent & diviſent la force du courant. D'ailleurs elles arrêtent les brouſſailles & toutes les matières que les eaux emportent avec elles. Enfin, elles finiſſent le plus ſouvent par arrêter le gravier lui-même.

Digues avec des arbres, uſitées ſur la Durance.

386. Le ſeul inconvénient de ce genre de digue de revêtement eſt de ne pouvoir pas y employer ſouvent des arbres ſtériles ou du moins qui donnent peu de produit, tel que le ſaule, le peuplier, l'orme, &c., & d'être au contraire ordinairement obligé d'y ſacrifier des arbres précieux & d'un grand rapport, tels que le murier blanc ſur la Durance. Auſſi ſeroit-il bien eſſentiel d'établir la police la plus ſévère, relativement aux arbres qui croiſſent ſpontanément le long des rivières; peut-être même faudroit-il obliger le riverain inſouciant à faire des plantations.

Au reſte, on peut voir, par cet expoſé, que c'eſt ici un expédient que l'on n'eſt en uſage d'employer qu'à l'extrémité & le long des berges excluſivement. Cependant il eſt aiſé de ſentir qu'on pourroit auſſi l'employer très-utilement dans l'intérieur du lit, en le combinant avec des paliſſades; ce qui conſtitue la ſeconde eſpèce de digues en bois dont nous allons parler.

Digues en paliſſades avec des arbres aux paremens. Fig. 37.

387. Le principal objet de ces digues eſt de détruire une branche ſecondaire & de la forcer à rentrer dans la branche-mère. Dans ce cas, leur direction n'eſt point arbitraire, mais elle eſt déterminée par les localités, ainſi qu'on va s'en convaincre.

Soit la rivière ABCD (fig. 37) qui, au point G, ſe partage en deux branches BEFG & CGHK, dont la première eſt la branche-mère. Si l'on examine attentivement la diviſion des rivières, on verra qu'il y a une ligne GD ſur laquelle les eaux ſont pour ainſi dire incertaines de quel côté elles ſe dirigeront, & où elles ne ſe verſent dans la branche GCHK, que parce que la berge DG ſouffre en cet endroit une ſolution de continuité. Ce n'eſt donc pas l'impulſion du courant qui les y pouſſe; elles n'y ſont entraînées que par un déverſement ou épanchement latéral : car le courant eſt établi entre AB & GD. Donc, ſi l'on conſtruit des ouvrages deſtinés à barrer la branche GCKH, ils éprouveront moins d'action, de la part du courant ſur la

ligne DG, que toute autre direction. Par conſéquent, c'eſt ſuivant la ligne DG qu'il faudra les diriger.

Comme DG eſt réellement la ligne qui diviſe les deux branches, nous l'appellerons *ligne de diviſion.*

388. La ligne de diviſion étant connue & jalonnée par des piquets, on procédera à la conſtruction de la digue de la manière ſuivante.

On plantera, ſuivant la direction de cette ligne, trois ou quatre rangs de pieux, plus ou moins, ſuivant la nature de la rivière, d'où dépend auſſi leur groſſeur. Cinq rangs nous ont ſuffi ſur la Durance. Ils ſeront eſpacés d'environ deux pieds de centre à centre. Pour les planter, à peu de frais, on fait les trous qui doivent les recevoir, avec un pieu armé d'un ſabot de fer.

Les pieux plantés, on en remplit les entre-deux de faſcinages, qu'on charge de pierres & qu'on arrête par intervalles avec des pièces tranſverſales. On a pareillement ſoin de garantir les deux paremens avec des branches d'arbres dont les tiges ſoient engagées dans le corps de la digue. Le pin eſt un des arbres les plus propres à cet objet, ſoit pour les branches de parement, ſoit pour les pieux; étant toujours ramé, ſes branches détruiſent plus efficacement l'action du courant, ſoit qu'elle s'exerce ſur le parement antérieur, ſoit qu'elle ait lieu par la chûte ſur le parement poſtérieur, lorſque, dans les grandes crues, la digue ſera franchie.

L'expérience nous a appris qu'on pouvoit employer efficacement ce moyen ſur la Durance dont on connoît la rapidité; &, d'après cela, nous pouvons en garantir le ſuccès ſur toute autre rivière.

Digues en clayonnages.

389. Lorſque la rivière eſt peu conſidérable, on peut beaucoup ſimplifier ces ſortes de digues en paliſſades, en employant des treſſes ou clayonnages. Dans ce cas, il ſuffit de deux rangs de pieux, laiſſant entr'eux un intervalle d'environ 3 pieds.

Ces deux rangs ſeront treſſés en oſier, & l'entre-deux ſera rempli de gravier. Mais il ſera toujours très-prudent d'en garantir les paremens avec des branchages employés ainſi que nous venons de le dire.

Digues en *chevrettes* ou *chevalets*.

390. Suppoſons un arbre dont la tige ſe diviſe, au moins, en trois branches, & qu'on coupe cette tige & les branches à environ quatre ou cinq pieds du point de diviſion; on aura un ſolide fourchu, qu'on nomme *chevalet*, dans le département du Midi, & dans d'autres, *chevrette*. Suppoſons encore que ce ſolide ſoit le plus volumineux poſſible & d'une peſanteur ſpécifique ſenſiblement plus forte que celle de l'eau. S'il eſt jetté dans le courant, il deſcendra au fond, & l'irrégularité de ſa forme l'empêchera d'être entraîné. Bien plus, cette même irrégularité accrochera & arrêtera les brouſſailles, les arbuſtes & tout ce que la partie correſpondante du courant entraînera. Enfin, lorſqu'il ſera ſurmonté par les eaux, il occaſionnera des affouillemens dans leſquelles il s'enfoncera de manière à ne pouvoir plus être déplacé (208).

L'on voit par-là qu'une digue formée en *chevalets* ou *chevrettes*, réunit de très-grands avantages; elle ne peut être ni renverſée ni entraînée; les affouillemens l'enracinent & la fortifient; elle peut, à volonté, changer la direction du courant ou produire des atterriſſemens ſuivant ſa diſpoſition.

On emploie ces ſortes d'ouvrages ſur les rivières les plus rapides, telles que la Durance, la Haute-Loire, &c.; il eſt malheureux qu'on n'en puiſſe pas faire un uſage plus fréquent. Deux obſtacles s'y oppoſent: 1°. Il y a peu d'arbres de groſſeur dont le bois ſoit ſpécifiquement plus peſant que l'eau. 2°. Parmi ces arbres, on en trouve peu qui aient la forme requiſe pour *chevrettes*. Ajoutons à cela que cette forme donne ordinairement les pièces courbes qui entrent dans la conſtruction navale, & qu'il eſt eſſentiel de ne pas prodiguer, ſur les rivières, des

pièces qui, eu égard à la rareté des bois relatifs à cet objet, peuvent être infiniment utiles à l'état.

Comment on pourroit conſtruire des chevalets factices. Fig. 38.

391. Si nous faiſions une chevrette en charpente, celle par exemple qui eſt déſignée par la fig. 38, repréſentant deux tétraëdres oppoſés au ſommet, & que nous y employaſſions la même qualité de bois que pour les chevrettes naturelles, il eſt viſible qu'elle produiroit le même effet. Bien plus, en lui donnant plus de branches que n'en a ordinairement la chevrette naturelle, l'effet n'en ſeroit que plus grand & plus aſſuré. Dans ce cas, il ſuffira d'avoir des pièces droites de groſſeur, & de les aſſembler convenablement, en les employant ſans aucun aprêt & telles qu'elles viennent de la forêt. Il n'en coûteroit de plus que la main-d'œuvre qui ſeroit amplement compenſée par la moins value des bois & par la facilité des tranſports. Nous n'avons pas expérimenté ce moyen, mais nous penſons que rien ne s'oppoſe à ſa réuſſite.

Simplification dans les conſtructions des chevalets factices.

392. Allons plus loin. Conſtruiſons ces chevrettes artificielles, avec des bois ſpécifiquement plus légers que l'eau; mais au centre, pratiquons en planches des cellules que nous remplirons de gravier, & que nous fermerons enſuite, lorſque le ſyſtême ſera devenu ſpécifiquement plus peſant: ces planches ſeront en outre utiles pour conſolider l'aſſemblage. On ſent, au premier abord, qu'une pareille chevrette ne ſera pas plus entraînée que les précédentes, & qu'elle produira encore le même effet: or, dans ce cas, on peut employer toute ſorte de bois, & ſur-tout le pin, qui a l'avantage de ne pas ſe corrompre dans l'eau, & qui eſt ordinairement fort commun le long des rivières dont la pente eſt conſidérable.

ARTICLE VIII.

Des Levées ou Turcies.

Cas où l'on emploie les levées.

393. Si une rivière a été réduite, & que les propriétaires riverains ſe ſoient avantagés aux dépens de ſon lit, il arrive ſouvent que, dans ſes crues, elle franchit les bords qu'on lui a aſſignés, & qu'elle inonde le plat-pays : alors, pour la contenir & l'empêcher de s'extravaſer, on conſtruit, du côté où elle peut ſe répandre, des chauſſées, qu'on appelle auſſi *levées* ou *turcies*. Ainſi, l'objet des levées eſt d'empêcher les inondations dans le tems des crues.

Qualités requiſes dans les levées.

394. D'après cela, les propriétés des levées, pour remplir cet objet, ſont :

1°. D'avoir l'épaiſſeur néceſſaire pour réſiſter à la pouſſée des eaux ;

2°. D'être ſupérieures aux plus hautes eaux de la rivière.

3°. Que le glacis, du côté de l'eau, ne puiſſe pas être dégradé.

4°. Enfin qu'il n'y ait aucune filtration.

Couronnement & talus des levées.

395. L'épaiſſeur de la digue au couronnement peut ſe réduire à rien (340), puiſqu'elle n'eſſuie que la preſſion des eaux qui, dans cette partie, eſt nulle. Cependant on eſt dans l'uſage de donner au moins 3 pieds de largeur au couronnement & même davantage lorſque les rivières ſont conſidérables. Quant à l'épaiſſeur de la baſe, elle dépend du talus. Celui de 45 degrés ſeroit ſuffiſant. Nous avons vu bien des endroits où il n'excède pas ce terme. Cependant on ne peut pas diſconvenir que, plus il ſera grand, moins il ſera ſujet à ſe dégrader. Ainſi nous croyons que le talus des levées devroit être au moins d'un & demi ſur un de hauteur.

396.

396. Le couronnement des levées doit être assez élevé pour n'être pas franchi par les eaux : car un simple filet qui s'extravaseroit, auroit bientôt creusé, sur la dernière, un profond ravin qui en entraîneroit la rupture (106). En cela il ne faut pas être minutieux, & il vaut mieux pécher par excès que par défaut, sur-tout lorsque les rivières sont considérables ; d'autant mieux que, d'une part, les levées se tassent toujours, & que de l'autre, des circonstances particulières peuvent considérablement enfler les eaux. C'est ce qui arriva au Rhône en 1755. Ce fleuve éprouva à cette époque une crue très-forte ; dans le même-tems, le vent du midi souffla avec violence, &, retardant la vîtesse des eaux, il en enfla tellement le volume que toutes les levées d'Arles & de Tarascon furent franchies. Hauteur des levées.

397. Les glacis, du côté des eaux, pour n'être pas dégradés dans les crues, ont besoin d'être fortifiés par un péré. On sent bien qu'il ne faut ni un péré en dalles, ni un péré en blocaille, & qu'un petit péré suffit, à moins que le lit ne soit excessivement rétréci ; auquel cas la levée ne mériteroit plus ce nom, mais plutôt celui de digue. Péré des levées.

Le moyen de mettre le péré lui-même à l'abri de l'action des eaux dépend de la situation de la levée. Si elle est au bord même de la rivière, nous avons vu (366) qu'on ne pouvoit garantir & soutenir le péré que par un pilotage. Si au contraire elle en est à une certaine distance, il suffira d'établir la base de ce péré à 2 ou 3 pieds de profondeur de fondation.

398. Dans le cas où les levées ne sont pas au bord de l'eau, comme dans plusieurs endroits, sur le Rhône, à Arles & à Tarascon, on peut forcer la rivière à les fortifier par des dépôts. Soient la rivière ABCD (fig. 39) & la levée EF. Construisons, par intervalles & perpendiculairement à la direction du courant, les épis triangulaires HKG, LMN, PQR. Ces épis seront en terre & pavés. SVT en est la coupe longitudinale sur la ligne EG & X'YZ' en est la coupe transversale sur la ligne XZ. La distance KL ou MP d'un Moyen de forcer les rivières à fortifier les levées.

épi à l'autre pourra être au moins de 400 toiſes, lorſque la pente de la rivière ſera d'environ 4 pouces ſur 100 toiſes. Or il eſt viſible, d'après cela, que les eaux, dans le tems des crues, ſeront mortes & ſtagnantes dans l'intervalle des épis, & que, par conſéquent, elles y dépoſeront juſqu'à ce que le glacis ſoit parvenu à la hauteur des crêtes des épis.

399. Si la levée éprouvoit des filtrations, elle ſeroit perdue; car les eaux filtrées, en tombant le long du talus poſtérieur, ne manqueroient pas de le dégrader (106). D'où il ſuit que la levée ne peut être qu'en terre bien battue.

Moyen d'empêcher le percement des levées de la part des taupes, &c.

400. Il n'arrive que trop ſouvent que les rats, les taupes, &c. percent une levée, & produiſent, ce qu'en certains endroits, on appelle *des renards*. Ces événemens ſont d'autant plus dangereux qu'on ne peut pas y remédier. Car, s'il ſurvient une crue, les eaux s'ouvrent un paſſage, par ce renard, qui ne peut être bouché qu'intérieurement. Or c'eſt ce qui eſt alors impoſſible.

On ne peut obvier à cet inconvénient que lors de la conſtruction. Pour cela il ſeroit à propos de pratiquer, au noyau de la levée, & dans toute ſa longueur & ſa hauteur, une cloiſon en briques placées de champ les unes ſur les autres; avec cette précaution, on n'auroit plus à craindre que la levée fût percée d'un talus à l'autre, puiſque l'animal, arrivé à la cloiſon, ſe trouveroit arrêté par un corps incorroſible.

ARTICLE IX.

Réſumé général des Digues précédentes.

401. De tout ce que nous avons dit dans les huit articles précédens, on doit déduire les conſéquences ſuivantes.

Uſage des digues perpendiculaires.

402. Les digues perpendiculaires à la direction du courant & deſtinées à exhauſſer le lit de la rivière, par des encombremens en limon, qui non-ſeulement fortifient les ouvrages, mais encore, puiſſent ſous le moins de tems poſſible, être rendus à

l'agriculture ; ces digues, disons-nous, doivent être construites en terre ou gravier, ainsi qu'il a été dit (344 & 349). Elles doivent particulièrement être employées sur les rivières qui ont un lit trop large & qu'on veut réduire à sa juste étendue. Mais elles ont essentiellement besoin d'une autre digue solidement construite à leur about, du côté de la rivière, dans une direction qui leur soit perpendiculaire ou parallèle à celle du courant, & dont la partie d'amont soit beaucoup plus longue que celle d'aval (329 & 338). C'est cette dernière digue que nous nommons *éperon*.

403. Les digues à pérés, soit en dalles, soit en blocaille, peuvent être employées suivant toutes les directions possibles, parallèles, obliques & perpendiculaires à celle du courant. Mais leur véritable destination est pour les deux premières directions, puisque la perpendiculaire est particulièrement affectée aux digues en terre ou gravier, ainsi que nous venons de le dire. Etant sujettes aux affouillemens, elles ont essentiellement besoin d'être défendues par des bermes ; & ces digues ainsi que les bermes, doivent être construites comme il a été dit aux n. 351 & 365 respectivement. Ces digues sont particulièrement destinées aux éperons qui doivent défendre les digues perpendiculaires en terre ou gravier. Elles peuvent aussi être très-utilement employées à la construction des chemins le long des rivières, ainsi qu'il a été dit (358). On peut pareillement s'en servir avantageusement pour prolonger, dans les ponts, les murs en aîles. Usage des digues à pérés.

404. Les digues à petits péres ne peuvent guères, faute de bermes, être employées qu'à des levées ou turcies. Si néanmoins on faisoit le péré en bâtisse, ainsi qu'il a été dit (367), on pourroit aussi les employer pour éperons aux abouts du côté de la rivière dans les digues en terre ou gravier, perpendiculaires au courant.

405. Les digues à pierres sèches, soit en pierre d'échantillon, Usage des digues à pierres sèches.

soit en blocaille, ne peuvent être solidement construites que d'après la réforme prescrite aux n. 371, 372, 374 & 375 respectivement. Elles sont plus coûteuses que les digues à pérés en dalles ou en blocailles qui, pour cette raison, doivent leur être préférées. Cependant, on pourra les employer utilement lorsqu'il s'agira d'établir la prise d'eau d'un canal auquel les eaux ne puissent pas manquer, & qui ne soit pas exposé, pendant les crues, à être encombré par les graviers : nous en avons déjà dit un mot au n. 321.

Usage des digues en maçonnerie.

406. Les digues en maçonnerie & parementées, soit en pierres de taille, soit en moëllons, présentent beaucoup de frais, sans aucun avantage, sur les digues précédentes. Aussi ne doit-on les employer que lorsque les circonstances & les localités l'exigent impérieusement.

Usage des digues en gabions.

407. Les digues en gabions ne peuvent être regardées que comme un ouvrage éphémère. Quoique peu coûteuses, lors de la construction, elles le deviennent beaucoup à la suite des tems, par les réparations continuelles qu'elles entraînent après elles. Elles ne peuvent servir que pour arrêter momentanément les ravages du courant, & pour donner le tems de faire des ouvrages plus durables. Du reste on pourra les construire conformément à ce qui a été dit (379 & 381).

Usage des digues par encaissemens.

408. Après les digues en maçonnerie, parementées en pierres de taille, il n'y a pas d'ouvrage qu'on puisse établir plus solidement sur les rivières, que les digues par encaissemens. Soit que les encaissemens soient à pierres sèches, soit qu'ils soient maçonnés, ces digues seront toujours moins coûteuses que celles parementées en pierres de taille; aussi leur destination naturelle est d'être placée sur les courans qui ont beaucoup de rapidité, tels que les torrens-rivières & même les torrens proprement dits. Leur direction peut être telle qu'on voudra & que les circonstances exigeront. On pourra, dans tous les cas, être assuré du succès, en se conformant à ce que nous avons dit aux n. 382 & 383.

409. Les revêtemens des berges avec des branches d'arbres produiſent preſque toujours leur effet, qui eſt d'arrêter les corroſions du courant ſur ces berges. Ainſi, dans un cas d'urgence, il eſt très-prudent d'y avoir recours (385). Uſage des digues avec arbres.

410. Les digues compoſées de paliſſades & de branches d'arbres ont un avantage plus étendu. On peut les employer avec ſuccès dans le lit des rivières, & ſur-tout pour détruire leurs diviſions en pluſieurs branches. On ne pourroit guères s'en ſervir pour éperons, à cauſe des affouillemens. On pourra les employer ſur les grandes rivières, quelque ſoit d'ailleurs leur rapidité, en ayant égard à ce que nous avons dit à ce ſujet (387 & 388). Uſage des digues avec arbres & paliſſades.

411. L'uſage des paliſſades treſſées ou en clayonnages eſt le même que celui des précédentes. La ſeule différence qu'il y a, c'eſt que celles dont nous parlons ne peuvent être employées que ſur de petites rivières, ainſi qu'il a été dit (389). Uſage des digues en clayonnage.

412. Les digues à chevalets ou à chevrettes ſont des meilleurs ouvrages qu'on puiſſe employer ſur les rivières, pour en modifier le courant, y produire des atterriſſemens, &c. Ainſi nous ne ſaurions trop en recommander l'uſage ; ſur-tout, qu'on eſſaye de conſtruire des chevalets factices, même avec du bois plus léger que l'eau, conformément à ce que nous avons dit (391 & 392). Il en réſulteroit, dans une infinité de cas, la plus grande économie & les plus grands avantages. Uſage des digues en chevrettes ou à chevalets.

413. Les levées ou turcies ne peuvent aucunement être employées dans le lit des rivières, mais ſeulement aux bords, pour en contenir les eaux pendant les crues. Du reſte, nous avons expoſé (395 & 400) les précautions qu'il y avoit à prendre pour les ſouſtraire à tout accident. Uſage des levées ou turcies.

Après avoir détaillé les divers moyens qu'on peut employer pour modifier ou détruire l'action des courans d'eau, il nous reſte à voir la manière de s'en ſervir pour réduire le lit des rivières.

CHAPITRE II.

De la réduction des Rivières & des Torrens-Rivières.

§. I.

De la réduction des Rivières à fond de gravier, & des Torrens-Rivières.

A quel problême ſe rapporte la réduction du lit des rivières à fond de gravier.

414. LA réduction du lit des rivières à fond de gravier dépend de la ſolution de ce problême : *Faire en ſorte que le courant n'ait que la largeur néceſſaire à l'écoulement de ſes eaux, dans le tems des plus fortes crues, & qu'il ſoit obligé de creuſer & d'approfondir ſon lit, en exhauſſant les côtés par des dépôts, non de gravier, mais de limon, qui puiſſent être rendus à l'agriculture ſous le moins de tems poſſible ; employer, à cet effet, les travaux les plus ſimples & les plus économiques, & les diſpoſer de manière que le courant, loin de les dégrader, les fortifie ; au contraire, par des atterriſſemens.*

Nous allons réſoudre ce problême par les principes que nous avons établis dans ce qui précède ; mais auparavant nous poſerons les ſuivans :

Principes fondamentaux pour la réduction du lit de ces rivières.

415. 1°. *Le lit d'une rivière doit être en ligne droite ſur le plus long eſpace poſſible.* La choſe eſt évidente, & elle eſt une ſuite naturelle des principes établis au n. 105. 1°.

2°. *Il doit, par conſéquent, avoir le moins de ſinuoſités poſſibles, & ces ſinuoſités doivent être les plus ouvertes poſſibles.* Ce n'eſt encore-là qu'une ſuite du principe du n. 105. 1°.

416. Suppoſons à préſent qu'il s'agiſſe de réduire une rivière qui ſerpente dans l'eſpace du lit majeur ABCDEFGHIKLMN (fig. 40). Manière d'opérer cette réduction. Fig. 40.

1°. On déterminera d'abord (221), par l'obſervation des eaux des plus fortes crues, la largeur à donner au lit réduit.

2°. Par la même obſervation, on déterminera auſſi la plus grande profondeur des eaux de la rivière dans le courant réduit, &, par-là, la hauteur des digues à conſtruire (344).

3°. On fixera auſſi l'intervalle à mettre entre deux rétréciſſemens conſécutifs, intervalle qu'on déduira des obſervations mentionnées au n. 212, en obſervant que la corroſion, en amont d'un rétréciſſement, s'étend d'autant plus loin que la rivière a moins de pente (210), & faiſant de plus attention qu'il eſt plus prudent de rapprocher les rétréciſſemens que de les trop éloigner.

4°. Ces préalables fixés, on tracera, dans le lit majeur, un polygone OPQRSTVX tel que, paſſant par les points O & X, ſes côtés ſoient les plus longs & ſes angles les plus obtus poſſibles. Le pourtour de ce polygone ſera la *directrice* ou l'axe du courant réduit.

5°. On conſtruira deux autres polygones ſemblables, l'un inſcrit, l'autre circonſcrit, dont les côtés ſoient éloignés de ceux du polygone primitif, de la moitié de la largeur à donner au courant réduit. Ce ſera ſur ces côtés qu'on établira les digues de rétréciſſement.

6°. On conſtruira les digues de rétréciſſement 1,1; 2,2; 3,3; &c. égales & correſpondantes de chaque côté de la directrice & aux diſtances déterminées (3°.); elles ſeront à péré de dalles ou de blocailles, ou à petits pérés maçonnés; &, dans leur conſtruction, on ſe conformera à ce qui a été dit, à leur ſujet, dans l'article II du §. précédent. Ces digues ſerviront en même-tems d'éperon, & on leur donnera la longueur relative à la na-

ture de la rivière, longueur dont nous avons parlé plus haut (336 & 338).

7°. Enfin, derrière ces éperons & perpendiculairement à la directrice, on conſtruira les digues 4, 4; 5, 5; 6, 6; &c. en terre ou gravier, conformément à ce qui a été dit dans l'article I du §. précédent.

Nous diſons que cette manière d'opérer donnera la ſolution du problême du n. 414. En effet:

1°. Le courant n'aura que la largeur néceſſaire au paſſage des eaux des plus fortes crues (221).

2°. Il ſera obligé de creuſer & d'approfondir ſon lit (210, 212, 219 & 220).

3°. Il exhauſſera en même-tems les côtés par des dépôts (323 & 326).

4°. Ces dépots ne ſeront pas en gravier, mais en limon qui, ſous peu de tems, pourra être rendu à l'agriculture (325 & 326).

5°. Les travaux que nous avons employés ſont les plus ſimples & conſéquemment les plus économiques. Car, outre qu'ils ne ſont pas continus (320), mais ſeulement par intervalles, ils ne ſont qu'en terre & gravier, & n'ont de la pierre qu'aux pérés (article I & II du §. précédent).

6°. Enfin le courant eſt obligé de les fortifier par des atterriſſemens (323 & 326).

Donc c'eſt cette manière de procéder qu'il faut adopter pour la réduction du lit des rivières à fond de gravier.

Nous allons à préſent entrer dans quelques détails qui ſe rapportent à ce ſyſtême de réduction.

Les digues des angles doivent être briſées. Fig. 40.

417. Prolongeons la partie OP de la directrice juſqu'en X. Comme, en cet endroit, il y a une ſinuoſité, la digue perpendiculaire correſpondante ne pourra pas former une ſeule ligne droite, mais ſeulement une ligne briſée 7, 8, dont la première partie ſera perpendiculaire à OPX & la ſeconde à PQ. On traitera

traitera de la même manière les digues perpendiculaires aux autres ſinuoſités.

418. Si les terreins adjacens ont été gagnés ſur le lit de la rivière & qu'ils ne ſe ſoient formés que des dépôts, il arrivera ſouvent, qu'au commencement de la réduction, les eaux, dans le tems des crues, s'élèveront au-deſſus du niveau de ces terreins. Dans ce cas, pour empêcher qu'elles ne s'extravaſent, en attendant que le courant ait creuſé ſon lit, on les contiendra par des levées dont le couronnement aura environ 3 pieds de largeur & ſera de niveau avec celui des digues perpendiculaires. Quant à leur parement, il ſuffira qu'il ſoit gazonné: car, les eaux devant y être ſtagnantes (324), il eſt viſible que ces levées n'éprouveront aucune action & n'auront conſéquemment pas beſoin d'être fortifiées comme celles dont nous avons parlé à l'article VIII du §. précédent.

Levées de précaution à conſtruire dans certains cas.

419. *Le courant, ainſi réduit, doit néceſſairement ſuivre la directrice, ſans s'écarter ni à droite ni à gauche entre deux rétréciſſemens conſécutifs.* Car 1°. les éperons 1, 1, le dirigeront vers le rétréciſſement des éperons 2, 2; &, par le principe du n. 105. 1°. Il doit ſe porter ſur cette direction. 2°. Cette route eſt plus courte que toute autre qui s'écarteroit d'un côté ou de l'autre de la directrice. Donc la pente y ſera plus forte, &, par le principe du n. 105 2°. le courant doit s'y diriger.

Le courant ne déviera pas entre deux rétréciſſemens conſécutifs. Fig. 40.

420. *Le courant ne doit pas ſe diviſer entre deux rétréciſſemens conſécutifs.* Car, d'une part, les côtés s'exhauſſent par des dépôts, &, de l'autre, le milieu s'abaiſſe par la corroſion. Or (105. 3°.) les eaux tendent toujours vers les endroits les plus bas.

Le courant ne ſe diviſera pas entre deux rétréciſſemens conſécutifs.

421. *Le courant changera de direction aux angles de la directrice en décrivant des lignes courbes.* La choſe a été démontrée au n. 229.

Le courant décrira des courbes aux ſinuoſités.

422. *Le courant creuſera ſon lit ſur toute la partie de ſon cours où l'on aura conſtruit des rétréciſſemens.* Cela a été démontré aux

Le courant creuſera ſon lit par-tout où il aura été rétréci.

n. 219 & 220. Il n'y auroit que le cas où le fond ſeroit incorroſible en quelque endroit où le lit ſeroit coupé par une barre tranſverſale de rocher. Alors il n'y auroit qu'à atténuer cette barre par l'action de la poudre, & laiſſer au courant le ſoin d'en entraîner les débris. Mais, en général, c'eſt ce qu'on a peu à craindre dans les rivières dont nous parlons, ainſi qu'on peut s'en convaincre par l'expérience & par ce que nous avons dit au n. 154.

Moyen d'accélérer les atterriſſemens.

423. Nous avons dit (339) que les atterriſſemens latéraux formeront des glacis dont la pente ſera dirigée vers le courant: à meſure qu'ils commenceront à ſe former, il ſera très-prudent d'en complanter, d'arbres aquatiques, la partie baſſe; par-là, on les accélérera, &, dans le tems, ces mêmes arbres ſerviront de rempart aux domaines qui réſulteront de ces atterriſſemens.

Cas où il y a des montagnes d'un côté du lit de la rivière.

424. Lorſque la rivière ſe trouve bornée, d'un côté, par des montagnes, quoiqu'elles ne ſe dirigent pas en ligne droite, il eſt à propos de s'en ſervir comme de digues naturelles & de fixer le courant à leur pied. Dans ce cas la réduction en deviendra plus ſimple, puiſqu'il ſuffira de faire des ouvrages d'un ſeul côté.

Cette méthode s'applique auſſi aux lits ſinueux.

425. Cette méthode s'applique auſſi aux rivières dont on veut abaiſſer le lit ſans le redreſſer; car la propriété des rétréciſſemens, de forcer le courant à corroder le fond, eſt indépendante de ſa direction.

Comment on doit opérer lorſque la rivière ſe partage en diverſes branches.
Fig. 41.

426. Soit A'B' (fig. 41.) la directrice de réduction du lit majeur LMPN d'une rivière ABCD qui ſe partage en deux branches au point E. Pour pouvoir travailler ſans obſtacle, par le moyen des chevalets (390 & 392), ou d'une digue en paliſſade telle que celle du n. 388, ſi la rivière eſt volumineuſe, ou telle que celle du n. 389, ſi elle n'eſt pas conſidérable, on jettera la branche CEFG dans la branche BEKH, & l'on conſ-

truira à ſec la digue ST & l'éperon QR : on pourra même, ſuivant les circonſtances, conſtruire auſſi l'éperon VX & partie de la digue YZ, juſqu'à la rencontre de la branche BEKH. Cela fait, on détruira la digue, & avec les mêmes matériaux on fermera la branche BEKH, pour la jetter dans le lit CEFG : alors les eaux deviendront ſtagnantes ſur la partie NTSQ ; le courant s'établira dans l'étranglement QRXV, & l'on finira la digue YZ à ſec.

Dans ces rivières, les rétréciſſemens doivent commencer en amont.

427. Faut-il commencer la réduction du lit en aval ou en amont ? Si on commence en aval & qu'on pouſſe les ouvrages en remontant, la corroſion s'étendant plus loin en amont du rétréciſſement qu'en aval (211), ſi la rivière ſerpente ſupérieurement, & qu'il faille en changer le lit, d'après ce que nous venons de dire au n. précédent, l'opération en deviendra plus difficile par la profondeur de la corroſion qui y aura déjà eu lieu. Cette difficulté, au contraire, ne ſe rencontreroit pas ſi l'on commençoit les travaux en amont, & qu'on les continuât en deſcendant, à cauſe que la corroſion s'étendant moins loin en aval, le déplacement, ſoit de la rivière entière, ſoit de quelque branche ſéparée, en deviendroit plus aiſé. Ainſi, pour la réduction des rivières dont nous parlons, les travaux doivent être commencés en amont & continués en deſcendant.

Nous verrons que ce doit être le contraire dans les rivières qui ne charient que du ſable & du limon.

Application de cette méthode aux torrens-rivières.

428. Il eſt viſible que cette théorie s'applique auſſi à la réduction du lit des torrens-rivières, ſur-tout lorſqu'ils approchent de la nature de la rivière proprement dite ; car alors les rétréciſſemens l'obligeront à creuſer ſon lit ſur toute la partie de ſon cours où l'on en aura conſtruit.

Utilité de cette méthode pour la conſtruction des chemins dans les pays de montagnes.

429. Ce genre de réduction peut beaucoup favoriſer la conſtruction des chemins dans les pays de montagnes. On ſait que, dans ces pays, on ne peut guères établir des chemins de

roulage que dans le lit des rivières : par notre ſyſtême, on produiroit le double avantage de gagner un terrein précieux, & d'établir des routes sûres & d'une pente extrêmement douce.

§. II.

De la réduction des Rivières à fond de ſable & de limon.

La réduction des rivières à fond de ſable & de limon, doit être renvoyée à la navigation.

430. Nous avons déjà remarqué (246) que dans les rivières à fond de ſable & de limon, il n'y avoit point de différence entre le lit majeur & le lit mineur : par conſéquent, ce n'eſt pas pour gagner du terrein qu'on entreprend d'en réduire le lit, mais ſeulement pour donner une plus grande profondeur d'eau à la rivière, & y faciliter la navigation. Il ſeroit donc inutile de traiter ici ce ſujet, qu'il paroît plus à propos de renvoyer à la troiſième partie, dans laquelle nous parlerons de la navigation des rivières.

SECTION III.

Uſage des principes précédens dans la conſtruction des Ponts ſur les Rivières à fond de gravier.

431. NOTRE objet n'eſt pas de donner ici un traité *ex-profeſſo* ſur la conſtruction des ponts : cette tâche glorieuſe eſt reſervée aux ingénieurs des ponts & chauſſées, qui ont illuſtré la France par divers chefs-d'œuvres en ce genre, dont les anciens, ni les modernes n'ont pas même approché. Quant à nous, il nous ſuffira d'indiquer, d'après les principes que nous avons établis, les moyens d'économie dont cette partie eſſentielle des

travaux publics eſt ſuſceptible ſur les torrens-rivières & ſur les rivières à fond de gravier.

Applications des principes précédens à la conſtruction des ponts ſur les rivières à fond de gravier. Fig. 42.

432. Soit ABCD (fig. 42) le lit majeur d'une rivière EFGH ſur laquelle il faut conſtruire un pont KL, dont on a déterminé la ſomme des ouvertures & le nombre d'arches, d'après ce que nous avons dit ſupérieurement (221). Nous ſuppoſerons que cette détermination donne trois arches : ſi la rivière eſt conſidérable, comme par exemple la Durance, l'Iſère, &c.; ſur la directrice MN choiſiſſons la ligne PQ, telle qu'en cet endroit le lit mineur ſoit établi du côté d'une des berges AB, & qu'il laiſſe de l'autre côté une largeur RQ aſſez étendue pour qu'on y puiſſe conſtruire à ſec les piles, les culées, les arches, & généralement tous les ouvrages d'art relatifs au pont. Si, au contraire, la rivière eſt peu conſidérable, on pourra toujours, par quelqu'un des moyens preſcrits à l'article VII du §. II, la réduire à ce point; on le pourra même par des chevalets, ſur les rivières telles que la Durance, &c. Alors on conſtruira le pont KL, les ailes ST & VX, la chauſſée d'avenue LQ, & la partie KR de la chauſſée correſpondante KP, juſqu'à la rencontre de la rivière EFGH. Cela fait, on changera le lit de la rivière par le moyen de chevalets (390 & 392) ſi elle eſt conſidérable, ou par le moyen des digues en paliſſades (388 & 389), & on portera le courant vers la berge DC, pour finir la chauſſée d'avenue KP.

Dans cette conſtruction, la longueur des digues en ailes ST, VX ſera déterminée d'après ce que nous avons dit aux n. 336 & 338, & la hauteur des chauſſées d'après le n. 344, & d'après la montée du pont.

Il eſt viſible qu'une pareille conſtruction ſimplifiera beaucoup les travaux, ainſi qu'on peut s'en convaincre par les obſervations ſuivantes.

1°. Tous les ouvrages ſeront conſtruits à ſec, ainſi que nous l'avons dit. Conſéquemment on évitera tous les batar-

deaux dont on eſt obligé de ſe ſervir quand on conſtruit dans l'eau.

2°. Les chauſſées d'avenue ſerviront elles-mêmes de digues perperdiculaires (324 & 333), & les digues ou murs en ailes en ſeront les éperons (329). Or, ſi l'on n'adoptoit pas ce ſyſtême, on ſeroit obligé de conſtruire, dans tous les cas, les chauſſées d'avenue & de donner aux digues en ailes une longueur aſſez conſidérable pour s'attacher obliquement aux berges AB & CD; ce qui ſeroit beaucoup plus coûteux.

3°. Si les digues en ailes ST & VX étoient obliques à la direction du courant, elles le porteroient ſouvent ſur les bajoyers des piles & des culées: au lieu qu'étant parallèles, elles ne produiront pas cet effet.

Ainſi, par cette conſtruction, qui ſe rapporte en tout point à notre ſyſtême de réduction de lit de rivière à fond de gravier, on réunira trois grands avantages. 1°. On n'exécutera que le moins d'ouvrage poſſibles; 2°. on les exécutera de la manière la plus économique; 3°. on pourra conſtruire des ponts à pluſieurs arches avec plus de facilité aux endroits les plus larges qu'aux endroits les plus étroits.

Simplification du prolongement des murs en ailes en amont.

433. Les digues en ailes ſervant de ſuite & de prolongement aux murs en ailes du côté d'amont, pourront donc n'être que des digues à péré, ſoit de dalles, ſoit de blocaille, ſoit enfin de bâtiſſe; car elles ne ſeront pas plus fatiguées par le courant que les éperons de rétréciſſemens dans la réduction du lit d'une rivière (416).

Obſervations ſur la poſition de la ſurface du radier.

434. Si l'on barre le lit de la rivière par un radier tranſverſal au droit des murs en ailes d'aval, le couronnement de ce radier fixera en amont le fond du lit & empêchera le courant d'affouiller au-deſſous de ce fond, ainſi qu'il a été dit au n. 215. Par conſéquent le radier mettra tous les ouvrages en amont à l'abri de tout accident de la part des affouillemens. Mais, en même-tems, il faut éviter les chûtes ou cataractes qu'il pour-

roit produire, ſi ſon couronnement étoit trop haut (213 & 214); ce qui nuiroit & au radier lui-même & à la navigation ou à la flottaiſon. Ainſi ce couronnement doit être néceſſairement placé à la profondeur de la corroſion que le courant exercera ſous le pont.

TROISIÈME PARTIE.

De la Navigation, du Hallage & de la Flottaiſon des Rivières.

Définition de la navigation, du hallage & de la flottaiſon des rivières.

435. SI une rivière peut être remontée à la voile, elle eſt dite *navigable*. Or on ſent que, pour cela, la vîteſſe de l'eau & conſéquemment la pente de la rivière doit être déterminée, & qu'il en eſt de même de ſa profondeur.

Lorſque la profondeur de l'eau eſt très-petite, ou qu'étant compatible avec la navigation, la vîteſſe ou la pente eſt trop conſidérable pour remonter à la voile, on effectue cette remonte par le moyen des chevaux qu'on attelle & qui traînent le navire en ſuivant le bord de la rivière. C'eſt ce qu'on appelle *hallage*.

Si la rivière n'a pas aſſez de profondeur d'eau pour la navigation, & cependant qu'elle en ait aſſez pour voiturer des radeaux, elle eſt dite *flottable*.

Conſéquences qui en réſultent:

436. De la définition de la navigation, il ſuit:

Pour la navigation.

1°. Que lorſqu'une rivière eſt navigable, ſi l'on augmente la profondeur de ſes eaux, on augmente ſa navigation.

2°. Que, par l'augmentation de profondeur, on rendra navigable une rivière qui ne ſera que hallable ou flottable, pourvu que ſa pente ſoit relative à la navigation.

Pour le hallage.

437. De la définition du hallage, il ſuit que le hallage deviendra d'autant plus facile qu'on diminuera davantage la pente de la rivière.

Pour la flottaiſon.

438. De la définition de la flottaiſon ou flottage, il ſuit qu'une rivière deviendra d'autant plus flottable que la profondeur de ſes

ſes eaux augmentera davantage. Par conſéquent en augmentant cette profondeur, on pourra auſſi :

1°. Rendre flottables ſans interruption les rivières qui ne le ſont que pendant une partie de l'année.

2°. Rendre flottables, au moins pendant quelques mois, pluſieurs rivières qui ne le ſont point du tout.

SECTION I.

De la Navigation des Rivières.

La forme des carènes des navires à voile, dépend de la profondeur des eaux de la rivière.

439. LA *forme des carènes des navires qui naviguent ſur les rivières dépend de la profondeur d'eau des navires.* Cela eſt naturel : car ſi ces rivières, ſoit par leur nature, ſoit par les marées, ont une grande profondeur d'eau, il n'y a point de raiſon pour exiger que les navires qui y entreront, aient des carènes différentes de celles des vaiſſeaux qui naviguent en pleine mer. Mais ſi, au contraire, les eaux y ſont peu profondes, les navires doivent, dans ce cas, avoir une forme de carène applatie qui s'adapte à cette profondeur.

Nous en avons un exemple dans les navires des rivières qui ont leur embouchure dans l'Océan, & dans ceux des rivières qui ſe jettent dans la Méditerranée. Les premiers ſont les mêmes que ceux qui ne voguent que ſur mer, à moins que quelque barre ne s'y oppoſe. Les autres, au contraire, ont preſque tous la carène applatie.

La navigation à la voile ſur les rivières a un terme.

440. Le navire, qui remonte une rivière à la voile, a beſoin de ſurmonter, à chaque inſtant, l'action que les eaux du courant exercent, par leur vîteſſe, ſur ſa proue. Plus cette action ſera grande, plus le navire aura de difficulté à la ſurmonter. Or nous avons vu (178 & 179) que la courbe, formée par

le fond d'une rivière, eſt aſſymptotique ; que les élémens ont toujours plus de pente en remontant, & (170) que la force de l'eau augmente avec cette pente. Donc ce navire arrivera à un point où l'action du vent ſur ſes voiles ſera en équilibre avec celle du courant ſur ſa proue, & où par conſéquent il ne pourra plus remonter.

La choſe eſt d'ailleurs prouvée par l'expérience ; car toutes les rivières navigables ne peuvent être remontées à la voile que juſqu'à une certaine hauteur, quoique d'ailleurs elles aient profondeur d'eau.

Quel eſt ce terme ?

441. Quel eſt le terme au-delà duquel un navire à la voile ne peut plus remonter ? On ſent que la ſolution de cette queſtion dépend de diverſes conſidérations. 1°. Le vent qui enfle les voiles peut être plus ou moins fort & plus ou moins direct ; 2°. il peut auſſi, ſuivant ſa direction, retarder plus ou moins la vîteſſe des eaux du courant. Cependant nous pouvons dire, qu'en général, cette remonte peut avoir lieu juſqu'à une certaine diſtance en amont du point où la rivière ceſſe de charier du gravier, & que le terme de la navigation eſt à l'endroit où la pente eſt d'environ 3 pouces $\frac{1}{2}$ ſur 100 toiſes.

C'eſt là ce que l'expérience nous apprend ; car ſur le Rhône, les navires ne peuvent guères remonter au-deſſus de Beaucaire. Or, 1°. le fleuve ceſſe de charier du gravier à environ 3000 toiſes en aval ; 2°. à la hauteur de Beaucaire, ſa pente eſt de 3 pouces $\frac{1}{2}$ ſur 100 toiſes à très-peu de choſe près.

Toutes les rivières à fond de ſable ou de limon, & qui ont une profondeur d'eau convenable, ſont navigables à la voile.

442. Il réſulte de-là que *toutes les rivières à fond de ſable ou de limon ſont navigables à la voile, pourvu qu'elles aient d'ailleurs la profondeur d'eau convenable à cet objet ;* car (176) la pente d'une rivière augmente ou diminue avec la groſſièreté des matières du fond, & (170) il en eſt de même de la force du courant ; donc cette force ſera moindre aux endroits où le fond ſera en ſable ou limon, qu'à ceux où il ſera en gravier. Or le Rhône, à la hauteur de Beaucaire, eſt encore navigable à la

voile, en remontant, quoiqu'en cet endroit le fond ſoit en gravier. Donc, à plus forte raiſon, le ſera-t-il aux endroits où le fond ſera ſeulement en ſable & limon. Par conſéquent, on doit conclure, pour toutes les rivières, que ſi elles ont profondeur d'eau, elles ſeront navigables par-tout où le fond ſera ſable ou limon.

Les rivières à fond de gravier le ſont auſſi, lorſque leur pente n'excède pas 3 pouces $\frac{1}{2}$ ſur 100 toiſes.

443. Il réſulte encore de-là que *ſi, à l'endroit où une rivière ceſſe de pouvoir être remontée à la voile, on diminue ſa pente en amont & qu'on la rende moindre que* 3 *pouces* 6 *lignes ſur* 100 *toiſes, elle redeviendra navigable;* car, en diminuant ſa pente, on diminuera ſa vîteſſe & ſa force, & l'action du courant, ſur la proue, ne balancera plus celle du vent ſur les voiles.

Moyen de rendre navigable une rivière qui a trop de pente.

444. On peut employer, d'après cela, deux moyens pour proroger la navigation ſur une rivière qui ceſſe d'être navigable par excès de pente. Le premier conſiſte à barrer ſon lit par un déverſoir (185 & 186). Cet ouvrage, en diminuant la pente du lit, diminue auſſi la vîteſſe & la force de la rivière. Le ſecond eſt de dériver ſupérieurement les eaux de la rivière, par un canal dont la pente ſoit au-deſſous de 3 pouces $\frac{1}{2}$ ſur 100 toiſes. Mais on ſent que, dans l'un & l'autre cas, il y aura des chûtes, & qu'il faudra les racheter par des écluſes.

De ces deux moyens, le premier n'eſt admiſſible que dans le cas où une rivière eſt bornée, de chaque côté, ſoit par un rideau de côteaux, ſoit par des berges aſſez hautes pour ne pouvoir pas être franchies. Le ſecond, au contraire, eſt abſolument indépendant de ces conditions, & peut très-avantageuſement être employé dans tous les cas poſſibles.

La navigation à la voile exige une certaine largeur.

445. La navigation à la voile exige une certaine largeur de la part des rivières, pour pouvoir avancer, par la plupart des vents, en variant la poſition des voiles. Cependant nous voyons, par expérience, que les Hollandois naviguent, ſur leurs canaux, quoique fort étroits en comparaiſon du lit des rivières, avec la même facilité que les Français ſur la Seine, priſe au-deſſous de

Rouen. Par où il paroît, qu'étant plus expérimentés que nous dans ce genre de navigation, c'eſt chez eux que nous devons former des nautonniers, ſi jamais nous entreprenons de réaliſer, en France, le magnifique projet de la navigation intérieure, projet agité depuis long-tems, auquel les localités ſe prêtent infiniment, & dont l'exécution ne laiſſeroit rien à deſirer pour la proſpérité nationale.

Elle exige auſſi que les ſinuoſités ne ſoient pas trop dures.

446. La navigation, à la voile, exige encore que les ſinuoſités ne ſoient pas trop dures; car ſi elles ſont trop fortes, il eſt poſſible que l'air de vent qui auparavant étoit favorable, devienne contraire. Ainſi, les replis tortueux d'une rivière, telle, par exemple, que la Seine, qui ſemblent ſouvent la faire rétrograder ou la ramener ſur elle-même, doivent être regardés comme un obſtacle qui peut en gêner plus ou moins la navigation. Cependant nous verrons plus bas que cet obſtacle n'eſt pas inſurmontable.

Les dépôts aux embouchures nuiſent plus à la navigation ſur la Méditerranée que ſur l'Océan.

447. Nous avons vu, au n. 270, que le limon, charié par les rivières, en ſe dépoſant à l'embouchure, formoit des barres dans l'Océan & des iſles dans la Méditerranée. Ces dépôts ſont très-nuiſibles à la navigation; car tant les barres ſur l'Océan, que les iſles naiſſantes (272) ſur la Méditerranée, diminuent la profondeur des eaux & forment ſouvent des écueils très-dangereux; mais ils ſont infiniment plus nuiſibles dans la Méditerranée que dans l'Océan; car la marée ayant régulièrement lieu ſur l'Océan, on ſent que, pendant la marée montante, ces dépôts ſont ordinairement couverts d'une aſſez grande profondeur d'eau pour que les navires puiſſent les franchir ſans toucher: au lieu que la Méditerranée n'ayant point de marée, on n'a pas la même reſſource.

L'expérience confirme cette aſſertion. Quoique toutes les rivières qui ſe jettent dans l'Océan contiennent des barres à leur embouchure, on voit néanmoins que les vaiſſeaux ont la facilité d'y entrer à marée haute. Le Rhône, au contraire, qui

s'évacue dans la Méditerranée, quoiqu'avec un volume d'eau plus considérable que celui de la plupart des autres rivières de la France, ne peut recevoir que des navires qui tirent seulement 4, 5, & 6 pieds d'eau.

D'autre part, la multiplicité des isles qui se forment à l'embouchure des rivières, dans la Méditerranée, divise le fleuve en plusieurs branches. Chacune de ces branches perd une partie de ses forces &, facilitant (271) les dépôts, la profondeur des eaux doit y diminuer continuellement, au lieu que la même cause n'a pas lieu sur l'Océan.

Les isles dans le lit des rivières, en gênent aussi la navigation.

448. *Les isles répandues sur le cours des rivières en gênent aussi la navigation;* car les isles, en partageant le courant en plusieurs branches, diminuent la largeur, la force & par-là même, la profondeur des eaux, étant visible que la diminution de force facilite les dépôts.

On en a des exemples dans les isles qui sont sur la Seine, la Loire, &c. On a constamment remarqué que ces isles sont très-pernicieuses à la navigation.

La trop grande largeur du lit nuit à la navigation.

449. *La trop grande largeur des rivières est un obstacle à la navigation*; car, dans la section du courant, la profondeur des eaux est en raison inverse de la largeur. Donc la largeur d'une rivière ne peut augmenter qu'aux dépens de la profondeur des eaux: d'où il suit que, si une rivière navigable étend son lit, la profondeur des eaux y diminuant, la navigation y sera gênée.

Impossibilité de détruire les dépôts à l'embouchure des rivières de la Méditerranée.

450. D'après ce que nous avons dit, au n. 447, on voit qu'il est impossible d'assurer la navigation à l'embouchure des rivières qui se jettent dans la Méditerranée. En effet que, pour éviter les dépôts, la formation des isles & la division en plusieurs branches, on resserre le lit de la rivière par des digues qui soient poussées, si l'on veut, jusques bien avant dans la mer, on n'anéantira pas pour cela le limon que le courant charie; ce limon continuera d'être entraîné & (11) s'arrêtera à l'endroit

où il y aura équilibre entre l'action du courant & la réſiſtance des eaux de la mer, c'eſt-à-dire, aux environs de la nouvelle embouchure. Ainſi la difficulté ne ſera pas détruite, mais ſeulement déplacée.

La navigation à l'embouchure des rivières dans la Méditerranée, exige eſſentiellement un canal.

451. Le ſeul moyen d'éviter les mouvemens inſéparables de l'embouchure des rivières, dans la Méditerranée, eſt un canal de navigation particulière qui, communiquant avec le fleuve, pris à une certaine diſtance en amont de ſon embouchure, aboutiſſe à la mer, priſe à un endroit où l'on n'ait pas à craindre les dépôts auxquels on veut ſe ſouſtraire. Il ſeroit même à propos, ſi la choſe étoit poſſible, que ce canal ne fût alimenté que par des eaux claires, pour éviter les effets des encombremens, pourvu toutes fois qu'on pût le mettre à ſec pour les récuremens & les réparations; alors on ſeroit aſſuré d'une navigation conſtante & indépendante des variations qui ont continuellement lieu aux embouchures dont nous parlons.

Canal de Marius à l'embouchure du Rhône.

452. Il paroît que les Romains avoient ainſi vu la choſe, relativement à la navigation à l'embouchure du Rhône; car, quoique leurs galères ne priſſent pas beaucoup d'eau, cependant Marius conſtruiſit un canal particulier qui probablement partoit d'Arles, mais qui certainement paſſoit à Foz, dont le nom n'eſt qu'un corruptif de *foſſa*. D'ailleurs, un ingénieur de notre connoiſſance, qui avoit été chargé, il y a pluſieurs années, de faire exécuter un canal de communication entre la mer & l'étang de l'Eſtomach qui eſt à Foz, nous a aſſuré avoir découvert, pendant l'exécution de cette entrepriſe, les veſtiges de ce canal qui, vraiſemblablement, aboutiſſoit à la mer, au pied de la colline de la *Lecque*, en-deçà du port de *Bouc*.

Nouveau canal projetté pour la même embouchure.

Ainſi, par la connoiſſance que nous avons des localités, nous croyons pouvoir aſſurer que jamais on ne viendra à bout de fixer, par d'autres moyens que par un canal ſemblable, la navigation à l'embouchure du Rhône. Ce canal peut être facilement alimenté, ou par celui des Alpines, ci-devant *Boisgelin*,

ou par le Vigueyrat & le canal de *Vuidanges*. Dans tous les cas, il doit communiquer avec le Rhône, pris à Arles, & aboutir au pied de la colline de la *Lecque*, pour arriver de-là au port de *Bouc*, ce qui eſt indiſpenſable. On ne peut pas tourner cette colline à cauſe des fondrières : il ſeroit très-coûteux de la couper, à cauſe qu'elle a environ 1200 toiſes d'étendue & 52 pieds de hauteur au point culminant. On peut lever toutes ces difficultés en conduiſant, au ſommet de la colline, un canal qui porteroit environ 20 pieds cubes d'eau par ſeconde ; ce canal ſeroit dérivé de la branche de celui des Alpines qui arroſe le Crau ; il ſeroit ſoutenu le long du penchant des collines qui ſéparent les étangs de *Lavaldue* & *d'Engrenieu* ; & ceux de *Citis* & du *Poura* ; &, arrivé au haut de la Lecque, il formeroit une retenue qui alimenteroit quatre écluſes de chaque côté de la colline. Ce ſeroit par le moyen de ces écluſes qu'on franchiroit la colline de la Lecque, pour paſſer, ſans coupement, du port de Bouc dans le canal, & réciproquement.

Nous avions communiqué ce projet aux ci-devant Etats de Provence, en 1787, & on le trouvera, ainſi que pluſieurs autres dont nous leur avions pareillement donné connoiſſance, dans le cahier de leurs délibérations pour la même année. Nous avons même encore les minutes des plans que nous avions dreſſés à ce ſujet par ordre de l'adminiſtration du ci-devant pays de Provence.

Impoſſibilité d'anéantir les barres à l'embouchure ſur l'Océan.

453. Les difficultés expoſées au n. 450 s'oppoſent auſſi, & par les mêmes raiſons, à la deſtruction des barres à l'embouchure de l'Océan. Toutes les digues qu'on établira, pour contenir le courant & lui donner plus de force, ne ſerviront qu'à les déplacer pour ſe reproduire plus loin. La barre de l'Adour à Bayonne, & les ouvrages qu'on y a conſtruits inutilement, pour la détruire, en ſont une preuve convaincante. Heureuſement, comme nous l'avons dit ci-deſſus (447), ces barres ſont beaucoup moins préjudiciables à la navigation ſur l'Océan,

que ſur la Méditerranée; ſans cette conſidération, il faudroit auſſi recourir aux canaux dont nous venons de parler (452).

On doit barrer les branches des rivières navigables.

454. Puiſque (448) la diviſion des rivières, en pluſieurs branches, eſt un obſtacle à la navigation, il eſt viſible que, pour rendre la navigation libre & aiſée, il faut détruire ces branches & les réduire, autant qu'il ſera poſſible, en une ſeule. Le courant, ainſi réduit, donnera plus de profondeur d'eau & permettra moins les obſtructions & les encombremens. Nous avons vu (387 & 388) la manière d'opérer ces barrages.

Cas où dans ce barrage, il faut laiſſer un canal.

455. Il y a néanmoins des cas où les iſles formées par ces diviſions, ſont très-étendues, & où les branches à barrer étant fort longues, & d'ailleurs plus ou moins navigables, favoriſent le commerce de diverſes communes riveraines. Ces branches ne pourroient être totalement barrées ſans nuire à ces communes. Dans ce cas, la juſtice & le bien public exigent que les barrages ne s'effectuent qu'en partie, & qu'on laiſſe toujours paſſer un certain volume d'eau dans le lit de ces branches barrées, pour tenir lieu de canal de navigation. Ce volume d'eau étant conſidérablement diminué, on ſent que la largeur du lit de la branche, ainſi fermé, doit diminuer dans la même proportion, par les encombremens latéraux qu'il ſera aiſé d'y produire, en employant la méthode preſcrite aux n. 414 & 427. Or, les dépôts des rivières navigables ne donnent que des terreins de la première qualité & dont le bénéfice dédommagera, toujours avec uſure, des dépenſes de réduction.

On doit réduire les rivières navigables, quand leur lit eſt trop large.

456. Lorſqu'un excès de largeur du lit forme obſtacle à la navigation, on ſent qu'en détruiſant cette cauſe, on détruit l'effet qui en réſulte. Ainſi, la raiſon dit qu'en pareil cas, il faut réduire le lit de la rivière & ne lui donner que la largeur néceſſaire à la navigation, &, en même-tems, diſpoſer les ouvrages de manière qu'ils ſoient les moins coûteux poſſible, & que les eaux, lors des crues, puiſſent paſſer librement. Or, on réunira toutes ces conditions, en ſe conformant au mode

preſcrit

preſcrit aux n. 414 & 417. Nous allons, à cet effet, entrer dans les détails convenables à l'importance du ſujet.

Détermination de la largeur à donner aux rétréciſſemens.

457. Suppoſons qu'on veuille augmenter la profondeur des eaux d'une rivière dans les tems ordinaires. Nous avons vu (211 & 212) qu'en rétréciſſant le lit, on obligeoit le courant à creuſer, & (217) que la profondeur de la corroſion eſt aſſez généralement, en raiſon inverſe de la largeur qu'on donne au lit rétréci. Tout dépend donc de la largeur du rétréciſſement qu'on déterminera par la proportion ſuivante: *La profondeur à donner aux eaux eſt à leur profondeur actuelle, comme la largeur actuelle du lit eſt à celle à donner au rétréciſſement.* Par conſéquent, ſi l'on ne donne au lit rétréci que la largeur exprimée par ce 4e. terme, on ſera aſſuré d'avoir la profondeur d'eau demandée. D'ailleurs, la choſe eſt évidente: car, à cauſe de l'uniformité de vîteſſe de la ſurface au fond, qui (103) a particulièrement lieu dans ces rivières, il eſt viſible que la maſſe, étant ſuppoſée conſtante, la profondeur doit être en raiſon inverſe de la largeur.

Au reſte, en rétréciſſant ainſi le lit d'une rivière, on n'a pas à craindre le gonflement des eaux, puiſque (217) l'abaiſſement du fond, par la corroſion, ſera égale à la hauteur du gonflement qui auroit lieu ſans corroſion. Par conſéquent, les eaux ordinaires ſe remettront à leur niveau: il n'y auroit que le cas où le fond, par ſa dureté ou ſa tenacité, ne pourroit pas être corrodé; mais alors on auroit recours au moyen indiqué au n. 422.

Les rétréciſſemens ne ſeront conſtruits que par intervalles; manière de les opérer.

458. Pour que les ouvrages ſoient les moins coûteux poſſible, il ne faut pas qu'ils ſoient continus. C'eſt pour cette raiſon, qu'après avoir fixé, par la méthode preſcrite au n. précédent, la largeur à donner au lit, aux rétréciſſemens, on n'effectuera ces rétréciſſemens que par intervalles, conformément à ce que nous avons dit au n. 416; ſur quoi on doit obſerver:

1°. Que ces rivières n'ayant pas de lit majeur (246), on ne peut point, dans leur réduction, les diriger, en ligne droite, ſur le plus long eſpace poſſible, ainſi que nous l'avons preſcrit pour les rivières à fond de gravier; mais qu'il ſuffit de les réduire dans leur lit habituel; car (425) la corroſion du fond & conſéquemment, l'augmentation de profondeur des eaux ſeront les mêmes dans l'un & l'autre cas.

2°. Que ces mêmes rivières ayant moins de pente que celles à fond de gravier (248), l'intervalle, entre deux rétréciſſemens conſécutifs, y ſera plus grand à proportion (210). Par conſéquent, pour réduire une rivière navigable ſur une étendue déterminée, il faudra moins de rétréciſſement que ſi la rivière étoit à fond de gravier.

3°. Que la réduction du lit qui (427), dans les rivières à fond de gravier, doit commencer en amont & être continuée en deſcendant, exige ici d'être commencée en aval & continuée en remontant; car l'effet de la corroſion s'étendant plus en amont qu'en aval, & le lit étant invariable, un rétréciſſement quelconque facilitera l'établiſſement des rétréciſſemens ſuivans en amont.

Différence entre la réduction d'une rivière à fond de ſable ou de limon, & celle d'une rivière à fond de gravier.

459. Il y a encore une différence eſſentielle entre la réduction d'une rivière à fond de gravier & celle d'une rivière à fond de ſable ou de limon; différence de laquelle dépend le libre paſſage des eaux de ces dernières pendant les crues. Nous avons vu (233) que, dans les rivières à fond de gravier, le couronnement des digues devroit être ſupérieur à la ſuperficie des plus hautes eaux. La raiſon en eſt, que l'objet de ces digues, placées perpendiculairement au courant, eſt de le fixer à un endroit déterminé, ſuppoſé d'ailleurs aſſez large pour ſuffire au paſſage des plus fortes eaux, &, par-là, de gagner du terrein ſur le lit majeur. Mais dans les rivières à fond de ſable, ſi les digues tranſverſales des rétréciſſemens étoient élevées au-deſſus des plus hautes eaux, il en réſulteroit, ſur-tout dans le prin-

cipe, des gonflemens très-considérables & dont les effets pourroient souvent être funestes, jusqu'à ce que le fond eût été convenablement corrodé.

Pour éviter cet inconvénient, les éperons ne doivent être élevés qu'à la hauteur de la surface des eaux d'équilibre (84). Quant aux digues transversales, leur couronnement se terminera en glacis incliné vers le courant & se raccordera, d'une part, avec celui des éperons, & de l'autre, avec les bords de la rivière.

Comme, dans les crues, les éperons seront sous les eaux, on indiquera le passage du courant ou celui des navires par des bouées ou signaux placés sur ces mêmes éperons, afin de les faire éviter.

Les ouvrages des rétrécissemens doivent être en bois.

460. Les ouvrages des rétrécissemens, quoique franchis par les eaux, pendant les crues, ne devant pas en être dégradés, il est nécessaire qu'ils soient construits en bois ou en pierre. Mais comme la construction en pierre seroit fort coûteuse, celle en bois paroît préférable. A cet effet, on emploiera des digues en palissades (388), en observant que les pilotis soient d'une grosseur proportionnée à leur longueur, qu'ils soient armés d'un sabot, enfoncés jusqu'à refus de mouton & solidement arrêtés entr'eux.

Forme des ouvrages dans le cas du hallage. Fig. 43.

461. Il y a des cas où l'on peut être obligé de ménager sur les ouvrages des rétrécissemens en chemin de hallage; alors la disposition des ouvrages doit éprouver un changement & être telle qu'il suit.

Soit ABCD (fig. 43) l'endroit à rétrécir sur le lit d'une rivière navigable. On construira, en pilotis, ainsi qu'il vient d'être dit (460), l'éperon FG & la digue GH, & on en garnira l'intérieur en tunages & en pierres, si la chose est possible. La digue EF, du côté d'amont, sera pareillement en pilotis, mais il n'y aura aucun empliſſage, & elle sera à jour ou à claire

voie, pour permetre aux eaux de paſſer à travers les pilots & d'encombrer, par leurs dépôts, l'eſpace EFGH. Ce ſera ſur ces pilots, récépés de niveau ſur FG, & en glacis ſur EF & GH, ainſi qu'il a été dit (459), qu'on établira en madriers le chemin de hallage.

On fera la même choſe ſur l'éperon KL & les digues IK & LM reſpectivement, ſi l'on veut un chemin de hallage de chaque côté de la rivière.

Comment on garantira les ouvrages d'art des effets de la corroſion.

462. S'il ſe trouve, ſur le lit de la rivière à réduire, des ouvrages d'art, tels que des ponts ou d'autres édifices quelconques, on doit, avant tout, en ſonder la profondeur & la ſolidité des fondations. Dans tous les cas, on ſent qu'avant d'opérer la réduction & de forcer le courant à corroder, la prudence exige qu'on en fortifie la baſe par de fortes bermes en pilotage, pour en garantir les fondations & les mettre à couvert de toutes dégradations.

Comment on franchira les ponts par la navigation à la voile.

463. Si l'on vouloit procurer la navigation à la voile à une rivière, qui auparavant n'eût joui que d'une navigation de hallage, & qu'il ſe trouvât des ponts ſur ſon cours, les arches de ces ponts étant trop baſſes pour permettre le paſſage des navires mâtés, on leveroit la difficulté en pratiquant, au droit de ces mêmes ponts, des canaux d'environ 100 toiſes de longueur, plus ou moins, ſur leſquels on conſtruiroit des ponts-levis.

Avantages qui peuvent en réſulter pour l'état.

464. C'eſt par ces moyens qu'on pourra augmenter, à volonté, la profondeur d'eau des rivières; d'où il ſuit (436): 1°. qu'on augmentera la navigation des rivières qui déjà étoient navigables, & qu'on les mettra en état de recevoir des navires de plus grand port; 2°. qu'un très-grand nombre de rivières de France, qui ne ſont que hallables ou flottables par le défaut de profondeur d'eau, & qui n'ont que la pente relative à la navigation, pourroient devenir navigables.

SECTION II.

Du Hallage des Rivières.

Considérations sur le commencement du hallage & la forme des navires.

465. D'APRÈS ce que nous avons dit au n. 435, le hallage a lieu dans deux cas; ſavoir: 1°. lorſque la rivière, ayant profondeur d'eau pour la navigation à la voile, ſa pente en eſt trop forte; 2°. lorſque cette pente, étant telle qu'elle doit être pour la navigation à la voile, la profondeur d'eau eſt inſuffiſante.

Dans le premier cas, nous pouvons dire que le hallage commence là où la navigation à la voile ceſſe d'être poſſible en remontant. Ainſi, en prenant le Rhône pour exemple, le hallage y commence à Beaucaire, parce que (441) c'eſt en cet endroit que finit la navigation à la voile.

Dans le ſecond cas, la forme des navires doit s'adapter à la profondeur des eaux; c'eſt-à-dire que moins il y aura de profondeur d'eau, plus la coupe horiſontale des navires doit être grande & leur profondeur petite. C'eſt pour cette raiſon que pluſieurs rivières de France, telles que la Seine & ſes affluens, en amont de l'endroit où la marée ceſſe d'être ſenſible, ne portent que des bateaux plats, fort longs & aſſez larges, mais peu profonds, qu'on fait remonter au hallage, à cauſe que cette forme n'eſt aucunement propre à la voile.

Il doit y avoir un chemin de hallage.

466. D'après le même n. 435, le hallage n'ayant lieu que par des chevaux de trait qui traînent le navire en ſuivant le bord de la rivière, il s'enſuit qu'il doit y avoir néceſſairement un chemin le long de la rivière, & que, du côté qu'on le placera, il ne doit y avoir ni arbre ni uſine qui puiſſe gêner ce genre de navigation. C'eſt ce chemin qu'on appelle *chemin de*

hallage, & qui même doit être continué ſous les arches extrêmes des ponts, comme on l'a pratiqué à Paris dans le magnifique pont de la Révolution.

Cas où il faut deux chemins.

467. Il arrive quelquefois que le hallage a lieu, non ſeulement en remontant la rivière, mais en la deſcendant. C'eſt lorſque la vîteſſe de la rivière n'eſt pas auſſi conſidérable que celle des chevaux de trait. Dans ce cas, il doit y avoir double chemin de hallage dont, l'un pour monter, & l'autre pour deſcendre: car on doit éviter la rencontre des convois de remonte & de deſcente.

Equation générale pour le hallage en montant & en deſcendant. Fig. 44.

468. Soient la vîteſſe du courant ou l'eſpace qu'il parcourt dans une ſeconde $= v$; l'eſpace qu'un cheval parcourt dans le même tems $= v'$;

L'impulſion de l'eau ſur un pied carré avec une vîteſſe d'un pied par ſeconde $= m$;

Le nombre des chevaux de trait employés au hallage $= n$;

L'effort habituel d'un cheval $= f$;

La vîteſſe relative ou d'impulſion du courant ſur le navire ſera $= v' \pm v$, ſuivant que le navire remontera ou deſcendra.

Cela poſé, par les principes d'hydraulique, les impulſions de l'eau ſur la même ſurface, étant comme les quarrés des vîteſſes, on aura l'impulſion ſur un pied carré ou la réſiſtance que le courant oppoſera à cette ſurface, qui ſera $= m.\overline{v' \pm v}^2$.

Soit ABCD (fig. 44) la coupe longitudinale d'un bateau de hallage dont la face CD reçoit l'impulſion de la part du courant EFGH, ſous l'angle EKM. Menons du point E la ligne EM perpendiculaire à CD prolongée. Suppoſons EK le ſinus total $= 1$, & nommons a la perpendiculaire EM qui ſera le ſinus de l'angle d'impulſion.

Menons pareillement CL perpendiculaire à EK. Elle ſera la projection de la partie CK de la face CD qui ſera choquée par le courant. Nommons cette projection f.

Par les principes de la méchanique de Bézout, n. 411, l'im-

pulſion de l'eau ſur un corps de figure quelconque eſt égale à celle qui auroit lieu ſur la projection de la ſurface choquée, multipliée par le carré du ſinus de l'angle d'incidence du fluide ſur cette même ſurface: par conſéquent, l'impulſion de l'eau ſur le navire, ou la réſiſtance qu'elle lui oppoſera, ſera la même que ſi elle s'exerçoit immédiatement & directement ſur ſa projection f multipliée par le carré du ſinus de l'angle d'incidence. Donc cette réſiſtance ſera $= ma^2 s.\overline{v' \pm v}^2$.

D'autre part, la force totale des chevaux de hallage ſera $= nf$.

Donc, puiſqu'il doit y avoir équilibre entre cette force & la réſiſtance des eaux, on aura l'équation $nf = ma^2 s.\overline{v' \pm v}^2$.

Dans cette équation on obſervera que dans le buiome $v' \pm v$, le ſigne $+$ eſt pour le cas de la remonte, & le ſigne $-$ pour le cas de la deſcente.

469. D'après les expériences du citoyen Boſſut, lorſque le fluide eſt défini, on a $m = \frac{7}{5} lb$, & lorſqu'il eſt indéfini, on a $m = \frac{7}{6} lb$. Cette différence vient, ainſi qu'on le ſent au premier abord, de ce que le navire ne peut avancer ſans pouſſer une maſſe d'eau qui eſt obligée de ſe porter ſur les derrières, pour y occuper le vuide que le navire y laiſſe. Or, dans ce paſſage elle éprouve d'autant plus de difficulté, que le navire laiſſe moins d'eſpace entre lui & les parois du canal dans lequel il ſe meut, & par-là même, elle réagit d'autant plus ſur lui.

Le courant d'une rivière hallable tient le milieu entre les fluides définis & les fluides indéfinis.

Si nous appliquons ce raiſonnement au hallage, on verra 1°. que le navire cotoie aſſez ordinairement la rivière; 2°. que le courant y ayant en général peu de profondeur, & celle du navire lui étant proportionnée (465), il doit reſter peu d'eſpace entre le fond de la rivière & le deſſous du navire; 3°. enfin qu'il n'y a que le côté oppoſé à celui du hallage où le courant ne ſoit point gêné; par conſéquent on peut dire, que dans

le hallage des rivières, le courant n'eſt ni défini ni indéfini, & qu'on doit y avoir $m > \frac{7}{6} lb$ & $< \frac{7}{5} lb$.

Ainſi en attendant que, par de nouvelles expériences, on ait réſolu la queſtion, nous croyons qu'on doit prendre la moyenne arithmétique entre ces deux réſultats, &, en conſéquence, dans l'application que l'on fera de l'équation précédente, ſuppoſer $m = \frac{11}{12} = \frac{7}{4} lb$.

Quelle eſt la force & la viteſſe d'un cheval.

470. On ſait d'ailleurs que la force modérée d'un cheval eſt de 175 *lb*, lorſque ſa vîteſſe eſt de 3 pieds par ſeconde. Cependant on ſent que ces quantités peuvent varier; car ſi l'on augmente le nombre de chevaux, ſans augmenter la projection du navire, il eſt viſible que la force qu'exercera chaque cheval diminuera, & que, par conſéquent, la vîteſſe de l'attelage augmentera.

Formules pour le hallage en montant.

471. L'équation que nous venons de donner, nous fournit la ſolution de toutes les queſtions qu'on peut propoſer ſur le hallage. Appliquons-là d'abord au cas de la remonte, nous aurons:

1°. $n = \frac{ma^2 s}{f} v' \overline{+v}^2$.

Cette formule nous fait voir que pour connoître le nombre de chevaux, il faut multiplier le quarré de la ſomme des vîteſſes de l'attelage & du courant, par la projection & le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion; diviſer le produit par la force d'un cheval, & multiplier le quotient par la quantité $\frac{7}{4}$.

2°. $f = \frac{ma^2 s}{n} v' \overline{+v}^2$.

D'où l'on conclud que pour avoir la force d'un cheval, il faut multiplier la projection par le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion & par celui de la ſomme des vîteſſes de l'attelage & du courant; diviſer le produit par le nombre de chevaux & multiplier le quotient par $\frac{7}{4}$.

3°. $s = \frac{nf}{ma^2 \overline{v'+v}^2}$

C'eſt-à-dire que, pour connoître la projection, on multipliera

pliera la force d'un cheval par le nombre de chevaux de l'attelage & on diviſera par la quantité $\frac{7}{4}$ multipliée par le quarré de la ſomme des vîteſſes de l'attelage & du courant, & par celui du ſinus de l'angle d'impulſion.

4°. $v' = -v + \sqrt{\frac{nf}{ma^2s}}$

Donc ſi l'on veut connoître la vîteſſe de l'attelage, on multipliera la force d'un cheval par le nombre de chevaux; on diviſera le produit par la projection multipliée par $\frac{7}{4}$ & par le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion; on extraira la racine quarrée du quotient & on en retranchera la vîteſſe du courant.

5°. $v = -v' + \sqrt{\frac{nf}{ma^2s}}$

Par conſéquent, pour avoir la vîteſſe du courant, on retranchera la vîteſſe de l'attelage de la racine quarrée de la formule précédente.

Formules pour le hallage en deſcendant.

472. En appliquant l'équation au cas de la deſcente, nous aurons les cinq formules ſuivantes.

1°. $n = \frac{ma^2s}{f}\overline{v'-v}^2$

Cette formule nous fait voir que, pour avoir le nombre de chevaux, il faut multiplier par la projection le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion & celui de la vîteſſe de l'attelage, diminuée de celle du courant, diviſer le produit par la force d'un cheval, & multiplier le quotient par $\frac{7}{4}$.

2°. $f = \frac{ma^2s}{n}\overline{v'-v}^2$

C'eſt-à-dire que, pour avoir la force d'un cheval, il faut multiplier la projection par le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion & par celui de la vîteſſe du convoi, diminuée de celle du courant; diviſer le produit par le nombre de chevaux, & multiplier le quotient par $\frac{7}{4}$.

3°. $s = \frac{nf}{ma^2\overline{v'-v}^2}$

D'où l'on conclud, que pour avoir la projection, il faut mul-

tiplier la force d'un cheval, par le nombre de chevaux, & diviſer le produit par la quantité $\frac{7}{4}$ multipliée par le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion & par celui de la vîteſſe de l'attelage, diminuée de celle du courant.

4°. $v' = v + \sqrt{\frac{nf}{ma^2s}}$

Donc on aura la vîteſſe de l'attelage, en diviſant par le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion, multiplié par la projection priſe $\frac{7}{4}$ fois, le produit de la force d'un cheval par le nombre des chevaux, & en ajoutant à la racine quarrée du quotient la vîteſſe du courant.

5°. $v = v' - \sqrt{\frac{nf}{ma^2s}}$

Par conſéquent la vîteſſe du courant ſe trouvera, en retranchant de la vîteſſe de l'attelage la racine quarrée de la formule précédente.

Raiſons pour leſquelles les rivières des pays de montagnes ne ſont pas hallables.

473. Dans l'expreſſion $ma^2s.\overline{v'+v}^2$ de la réſiſtance, lors de la remonte, on voit que plus v augmentera, plus la réſiſtance s'accroîtra. Par conſéquent, plus la rivière aura de vîteſſe ou de pente, plus le hallage deviendra difficile. Et puiſque (161 & 178) les rivières ont plus de pente dans les pays de montagnes, que dans les pays de plaines, il s'enſuit que le hallage ſera d'autant plus difficile, que le pays ſera plus montueux.

La choſe eſt prouvée par l'exemple du Rhône, de la Haute-Loire & de la Garonne.

Dans quel cas on doit renoncer au hallage.

474. De-là on peut déduire le cas où le hallage doit être abandonné. En effet, l'objet du hallage eſt de faciliter les tranſports & d'économiſer ſur les frais des voitures. Or, plus la vîteſſe du courant augmentera, plus la réſiſtance $ma^2s.\overline{v'+v}^2$ deviendra forte, &, par conſéquent, plus il faudra d'agens & de chevaux. Par toutes ces augmentations, on ſent qu'il y aura enfin un terme où il ſera indifférent pour les frais, que le tranſport ſe faſſe par eau ou par terre, & au-delà duquel il ſera

moins coûteux d'opérer ce tranſport par roulage, que par hallage. On trouvera ce terme de la manière ſuivante.

1°. On évaluera, par les formules du n. 471, le nombre de chevaux à employer & celui des agens & conducteurs, l'espace qu'ils pourront parcourir dans un tems déterminé & le nombre de jours qu'ils ſeront en route. D'où l'on connoîtra les frais de tranſport par le hallage.

2°. Le poids des marchandiſes étant cenſé connu, on évaluera facilement les frais de leur tranſport par le roulage.

3°. Si les frais, par eau, ſont moins forts que par terre, il faut préférer le hallage. Il faudra même lui donner la préférence dans le cas de l'égalité, à cauſe que, dans ce cas, on procure des chevaux à l'agriculture & qu'on ne dégrade pas les routes. Mais lorſque les frais par eau ſont ſenſiblement plus forts que ceux par terre, il n'y a plus à héſiter, & le hallage doit être abandonné.

C'eſt pour cette raiſon que jamais on n'a entrepris de hallage pour remonter certaines rivières très-rapides, telles que la Durance, &c.

475. Dans l'équation générale $nf = ma^{4}s.\overline{v^{2}+v}^{2}$ on voit auſſi que, ſi la vîteſſe v du courant diminue, le ſecond membre diminuera auſſi, & que, par conſéquent, le premier membre ſubira la même diminution. D'où l'on conclud que le hallage de remonte deviendra d'autant plus facile, &, conſéquemment, d'autant moins coûteux, que la vîteſſe du courant ou ſa pente (170) ſera moins conſidérable. Donc, puiſque (160 2°.) dans les pays de plaines, le fond n'eſt pas en gravier, & que, par conſéquent (176), la pente y diminuera, le hallage y deviendra plus facile.

Le hallage eſt facile ſur les rivières des pays de plaines.

Ainſi les rivières des pays de plaines étant plus propres au hallage de remonte que celles des pays de montagnes, doivent procurer auſſi de plus grands avantages au commerce. On en a

la preuve dans la comparaiſon qu'on peut faire de la Seine & de ſes affluens avec le Rhône.

Canaux latéraux à ſubſtituer aux rivières trop rapides.

476. Puiſqu'il eſt avantageux, pour le hallage, que le courant ait le moins de pente poſſible, il ſuit qu'on peut améliorer celui des rivières qui ont trop de rapidité, comme le Rhône, la Haute-Loire & la Garonne, en leur ſubſtituant des canaux latéraux dont la pente ſera telle qu'il conviendra de la leur donner pour faciliter les tranſports, & dont les chûtes qui en réſulteront ſeront rachetées par des écluſes. Ces ſortes d'ouvrages réuniront beaucoup d'avantages que n'ont pas les rivières dont nous parlons. Car, outre que la pente y ſera moindre, ils auront conſtamment la même profondeur d'eau, & le courant y aura toujours la même vîteſſe. D'ailleurs on y ſera à l'abri des accidens des crues.

Il eſt donc très-eſſentiel, pour le hallage de remonte, de ſubſtituer des canaux latéraux, aux rivières qui ont trop de rapidité. Ces canaux doivent être regardés comme des rivières artificielles ſubſtituées aux rivières naturelles, & qui n'ont aucun des inconvéniens de ces dernières.

Cas où l'on peut, par barrage, rendre hallable une rivière.

477. Si l'on ſuppoſe qu'une rivière, dont la pente eſt trop forte pour le hallage de remonte, ait des bords aſſez élevés pour ne pas faire craindre les inondations, on peut diminuer cette pente & faciliter le hallage en barrant, par intervalles, ſon lit par des déverſoirs (183 & 184). Dans ce cas, on produira des chûtes aux déverſoirs, & il faudra les racheter par des écluſes, ainſi que nous l'avons déjà dit au n. 444. Mais nous devons obſerver que ce moyen n'eſt praticable que ſur les petites rivières. Car, lorſque les rivières ſont conſidérables, les ouvrages ſeroient exceſſivement coûteux, & il vaudroit beaucoup mieux, ſous tous les rapports, leur ſubſtituer des canaux latéraux (476).

Dans quel cas on peut employer le

478. Reprenons l'équation fondamentale, & appliquons-là au

cas du hallage de deſcente. Nous aurons $nf = ma^2 s.\overline{v'-v}^2$. Dans cette équation, ſi v' eſt $= v$, on aura $v'-v = o$, & par conſéquent, $nf = o$; ce qui nous fait voir, que ſi la vîteſſe de l'attelage eſt égale à celle du courant, la force des chevaux ſera inutile, & que celle du courant ſuffira. hallage en deſcendant.

Si au contraire on a $v' > v$, alors $v'-v$ donnera une quantité poſitive, & nf aura une valeur déterminée. D'où l'on conclud que *le hallage, en deſcendant, exige que la vîteſſe du courant ſoit moindre que celle des attelages.*

Si l'on ſuppoſoit $v' < v$, $v'-v$ ſeroit négative & ſuppoſeroit que l'attelage détruit une partie $= v'$ de la vîteſſe du courant. Mais ce cas n'a jamais lieu.

479. Si la pente d'une rivière eſt compatible avec le hallage, mais que la profondeur des eaux y ſoit inſuffiſante, on pourra augmenter cette profondeur & rendre la rivière parfaitement hallable, en rétréciſſant ſon lit par intervalles & en ſe conformant à ce que nous avons dit, à ce ſujet, dans la ſection précédente. Ce qu'il faut faire lorſque la rivière n'a pas aſſez de profondeur d'eau.

480. Il ſuit de là, que (475) toutes les rivières en pays de plaines, n'ayant qu'une pente propre au hallage, peuvent être rendues hallables lorſqu'elles ne ſont pas flottables; &, qu'étant déjà hallables, le hallage peut y être conſidérablement augmenté, en recevant des barques qui prennent une plus grande hauteur d'eau. Conſéquence eſſentielle pour les rivières des pays de plaines.

Cette conſéquence eſt eſſentielle pour une infinité de rivières de la France & en particulier pour pluſieurs des affluens de la Seine.

SECTION III.

De la Flottaiſon des Rivières.

Cas où la rivière ne ſera que flottable.

481. SI une rivière n'a pas aſſez de profondeur d'eau pour les bateaux, mais qu'elle en ait aſſez pour les radeaux (435), ou ſi, ayant aſſez de profondeur pour les bateaux, elle a trop de pente pour le hallage (474), elle ſera ſeulement flottable.

Flottaiſon des radeaux.

482. La flottaiſon conſiſte à livrer à l'action du courant un aſſemblage de corps réunis ſous la forme de radeaux ou de trains de bois & à le laiſſer flotter ſur la ſurface des eaux qui l'entraîne. Par où l'on voit qu'il y a cette différence eſſentielle entre le hallage & le flottage : c'eſt que le premier ſe fait ordinairement en remontant & en s'oppoſant au courant, au lieu que le ſecond n'a lieu qu'en deſcendant & par l'action du courant.

Flottaiſon à *pièces perdues.*

483. Quelquefois le flottage ſe fait à pièces perdues. Cela arrive lorſque les pièces ne ſont pas aſſemblées en radeaux ou en trains. Dans ce cas, il eſt eſſentiel que les pièces ſoient ſpécifiquement plus légères que l'eau : car, ſans cette condition, elles ne ſurnageroient pas & deſcendroient au fond. Dans le cas, au contraire, où elles forment des radeaux, il faut que le ſyſtême pèſe moins qu'un pareil volume d'eau. Par conſéquent, dans un radeau ou train de bois, il peut y entrer des matériaux plus peſans que l'eau, pourvu que le reſte compenſe cet excès de poids. C'eſt par cette raiſon, que les radeaux compoſés de bois légers, tel que le ſapin, peuvent ſervir à tranſporter diverſes marchandiſes plus peſantes.

Tout corps, ou ſyſtême de corps flottant, ne doit jamais toucher le fond.

484. Nous avons vu (439 & 465) que, dans les rivières navigables & flottables, la profondeur des eaux règloit celle

des navires. De même auſſi, dans les rivières flottables, la profondeur des eaux détermine la hauteur ſoit des radeaux, ſoit des trains de bois qu'on doit faire flotter. En général on peut regarder comme principe que *tout corps ou ſyſtême de corps, qui doit être tranſporté par le moyen des eaux, ne doit jamais toucher le fond.*

485. Il ſuit delà, que, puiſqu'il eſt avantageux qu'un radeau ou un train quelconque flottant, ait le plus de hauteur poſſible, il eſt auſſi avantageux *qu'une rivière flottable ait la plus grande profondeur d'eau poſſible.* En conſéquence, on doit faire enſorte d'augmenter cette profondeur, en détruiſant les obſtacles qui la diminuent.

Conſéquence qui en réſulte pour la flottaiſon.

486. *La trop grande largeur eſt nuiſible au flottage.* Car plus la largeur augmente, plus la profondeur des eaux diminue. Donc (484) les radeaux & les trains y auront moins de hauteur; ce qui (485) eſt déſavantageux.

Un lit trop large nuit au flottage.

487. *La diviſion d'une rivière en pluſieurs branches eſt un obſtacle à la flottaiſon.* La choſe eſt évidente. Car les branches priſes ſéparément auront moins de profondeur d'eau que ſi elles étoient priſes collectivement : d'ailleurs cela eſt prouvé par l'expérience.

Il en eſt de même : 1°. de la diviſion des rivières.

488. *La diminution du volume d'eau d'une rivière eſt pernicieuſe à ſa flottaiſon.* Car cette diminution en amène une dans la profondeur. C'eſt pour cette raiſon, que dans la ſaiſon des baſſes eaux, beaucoup de rivières ceſſent d'être flottables.

2°. De la diminution du volume d'eau.

489. *Les gros quartiers de pierre qui ſont arrêtés dans le lit d'une rivière* (208) *en gênent la flottaiſon.* Car ces pierres qui ſaillent audeſſus du fond de la rivière, diminuent en ces endroits la profondeur des eaux, & forment, pour ainſi dire, des écueils dans le courant.

3°. Des gros quartiers de pierre.

490. *Les chûtes ou cataractes ſont contraires à la flottaiſon.* Soit ABCD (fig. 45) le fond du lit d'une rivière qui a une cataracte en BC. Lorſque le radeau E ſera arrivé à la chûte, il prendra

4°. Des chûtes ou cataractes.

la position F qui pourra lui faire toucher le fond & peut-être l'y faire échouer. Mais, dans tous les cas, sa position inclinée pourra nuire aux conducteurs & aux marchandises.

La flottaison exige : 1°. qu'on retrécisse le lit des rivières.

491. La première chose à faire pour assurer & faciliter la flottaison d'une rivière, est d'en rétrécir & d'en réduire le lit, suivant le système que nous avons prescrit aux n. 414 & 428. Par ce moyen, 1°. la profondeur d'eau augmentera ; 2°. il n'y aura point de division ; 3°. on gagnera du terrein à l'agriculture.

2°. Qu'on atténue les gros quartiers de pierre.

492. Les pierres saillantes (489) doivent être atténuées à la poudre. Ainsi décomposées & divisées, les éclats seront entraînés par le courant, ou enterrés (208) dans le gravier. Mais, dans l'un & l'autre cas, ils ne gêneront plus la flottaison.

3°. Qu'on détruise les cataractes. Fig. 45.

493. Les cataractes doivent pareillement être détruites par l'action de la poudre. Ainsi, dans la figure 45, la partie ACB devroit être enlevée pour racheter la cascade bC, par le plan incliné AC, qui fait, avec la partie restante CD du lit, un angle ACD beaucoup plus obtus que l'angle BCD.

Avantages qui résulteront de ces opérations pour la flottaison.

494. En employant ces moyens, on voit :

1°. Qu'une rivière, qui souvent n'est pas flottable, soit par sa trop grande largeur, soit par les isles qui se forment dans son lit, quoiqu'elle ait d'ailleurs un volume d'eau suffisant, deviendra constamment flottable.

2°. Qu'il en sera de même d'une rivière dont le volume d'eau suffit au flottage, mais dont le lit est barré par des chûtes, ou obstrué par des rochers.

3°. Qu'une rivière, qui, par ses divisions, n'est flottable qu'une partie de l'année, peut le devenir sans interruption.

4°. Enfin qu'une rivière, qui n'étoit flottable dans aucun tems, peut le devenir pendant les mois pluvieux de l'année.

C'est ce que nous avions déjà dit en passant au n. 438.

Avantages qui en résulteront pour l'Etat.

495. En assurant ainsi la flottaison des rivières, il en résulteroit de très-grands avantages pour l'Etat, en effet :

1°.

1°. Les rivières dont nous parlons, ayant beaucoup de pente, ſont toujours (160. 1°.) dans des pays de montagnes. Or c'eſt particulièrement des montagnes que nous viennent les bois de charpente, ſoit civile, ſoit navale; on pourroit donc ſe les procurer, avec bien plus de facilité, par le flottage, que par le roulage toujours fort difficile dans ces ſortes de pays où les chemins manquent aſſez ſouvent.

2°. Par la même voie, l'exportation des ouvrages d'induſtrie & du ſuperflu des denrées de ces pays ſe feroit à bien moins de frais par radeaux, ce qui ſeroit un avantage pour le commerce.

Cas où l'on doit ſubſtituer à la rivière un canal latéral de hallage.

496. Il y a néanmoins des cas où il eſt à propos de ſubſtituer à la flottaiſon d'une rivière, un canal latéral de hallage, tel que ceux dont nous avons parlé au n. 476. Si, par exemple, les deux extrêmes de ce canal peuvent être conſidérés comme deux points centraux qui réuniſſent chacun un commerce fort étendu, il n'y a pas à héſiter ſur la conſtruction d'un pareil canal. On pourroit, d'après cela, conſtruire un canal de hallage latéral au Rhône depuis Genève juſqu'à Lyon. Car Genève ſeroit regardé comme l'entrepôt général des denrées & des marchandiſes de la Suiſſe & du Mont-Blanc; tandis que Lyon ſeroit celui des denrées & des marchandiſes de toute la France.

Mais lorſqu'il n'y a pas un certain équilibre entre les maſſes de commerce dont les deux points extrêmes ſont ſuſceptibles, un pareil canal ne doit jamais être entrepris. C'eſt pour cette raiſon qu'il ſeroit abſurde de conſtruire un canal de hallage latéral à la Durance, pour faire communiquer le département des Bouches-du-Rhône avec les départemens des Hautes & Baſſes-Alpes; car le premier doit être regardé, par rapport à Marſeille, comme le centre d'un commerce immenſe, tandis que les deux autres, par leur ſituation & la nature des lieux, ne préſentent rien qui mérite d'entrer en parallèle avec les avantages dont jouit le départe-

ment des Bouches-du-Rhône. Par conſéquent il n'y auroit aucun échange qui valût la peine d'un canal auſſi coûteux que le ſeroit celui dont nous parlons.

SECTION IV.

De la Navigation intérieure de la France.

Principe d'après lequel on doit opérer pour la navigation intérieure.

497. DEPUIS long-tems on ne ceſſe de parler de la navigation intérieure de la France. Mais juſqu'à préſent il paroît qu'on n'a pas encore préciſé l'idée qu'on doit attacher à un pareil projet. Cependant il eſt très-eſſentiel d'être d'accord ſur la choſe avant de diſcuter les moyens d'exécution. On ne nous ſaura donc pas mauvais gré de donner nos idées ſur cet important objet, ainſi que ſur tout ce que nous avons traité dans cet ouvrage; nous n'avons ſur celui-ci en particulier qu'un ſeul principe dont nous ne nous éloignerons jamais. Ce principe conſiſte à *n'exécuter que les travaux d'abſolue néceſſité & à employer les moyens les plus ſimples & les moins coûteux.*

Avantages qu'a la France pour effectuer la navigation intérieure.

498. Il ſeroit peut-être difficile de rencontrer ſur la ſurface du globe un pays plus favoriſé par la nature, du côté des rivières. Les Alpes, les Pyrénées, les montagnes des départemens formant la ci-devant Auvergne, nous fourniſſent le Rhône, la Garonne, l'Adour, la Loire & une infinité de rivières d'un ordre inférieur; tandis que les maſſes élevées de la ci-devant Bourgogne & de la ci-devant Franche-Comté nous donnent la Seine, la Meuſe, la Moſelle, la Saône &c. La plus grande partie de ces rivières ſe dirigent de l'Eſt à l'Oueſt, & portent leurs eaux dans l'Ocean; quelques-unes ſe dirigent du Sud au Nord. Le Rhône ſeul & ſes affluens prennent leur direction du Nord au Sud & vont ſe jetter dans la Méditerranée; par où l'on voit

que, par le moyen de toutes ces rivières, l'intérieur de la France peut communiquer avec l'Océan français, la mer d'Allemagne & la Méditerranée.

Les rivières ſous le rapport des tranſports, ont trois parties remarquables.

499. D'après ce que nous avons dit (45 & 51. 1°.), les rivières prennent leur ſource dans les montagnes. Leur lit pris depuis leur ſource juſqu'à la mer, forme (179) une courbe aſſymptotique ; c'eſt-à-dire que leur pente eſt à ſon *minimum*, à leur embouchure, & qu'elle augmente continuellement, en remontant vers leur ſource (178).

Il arrive de là que les rivières, conſidérées relativement aux tranſports, ont trois parties remarquables.

La première de ces parties eſt celle où elles n'ont que le degré de pente requis par la navigation à la voile. Cette partie eſt aiſée à diſtinguer, car (441 & 442) le fond ne contient que du ſable & du limon. Si elle contient du gravier, ſa pente ne doit pas excéder 3 pouces & demi ſur 100 toiſes de longueur, & elle eſt toujours contiguë à la mer (103 & 251).

La ſeconde partie ſuit immédiatement la première, en remontant vers la ſource ; c'eſt celle dont la pente, augmentant au-delà de 3 pouces & demi ſur 100 toiſes (441), imprime aux eaux un degré de vîteſſe, & conſéquemment un degré de force qui ne peut être ſurmonté que par le hallage. Or, phyſiquement, cette partie n'auroit pas de limites & abſorberoit même la troiſième dont nous allons parler, puiſqu'à la rigueur, on peut indéfiniment augmenter le nombre des chevaux de trait : mais on doit les fixer moralement & par le parallèle des frais de tranſport par eau & par terre, conformément à ce que nous avons dit précédemment (474).

La troiſième partie commence là où finit la ſeconde, & ſe propage en remontant juſqu'à la ſource. Elle eſt excluſivement affectée à la flottaiſon, à cauſe de la grande pente du lit (178) & de la rapidité du courant qui en eſt l'effet (170).

500. Nous avons dit (484) *que tout corps ou ſyſtême de corps*

qui doit être transporté par le moyen des eaux, ne doit jamais toucher le fond. D'où il suit, qu'avec la pente relative à la navigation à la voile, au hallage & à la flottaison, il faut encore une certaine profondeur d'eau.

Nous avons vu (457 & 458) les moyens à employer pour se procurer cette profondeur dans la première partie du lit des rivières, & (479) que ces mêmes moyens sont applicables à la seconde partie. Quant à la troisième partie, nous avons dit (486) & 494) ce qu'il convenoit de faire pour le même objet.

501. Enfin nous avons dit (451), que par le moyen d'un canal, on éluderoit les obstacles inséparables de l'embouchure des rivières dans la Méditerranée (476); que le même moyen faciliteroit beaucoup le hallage dans la seconde partie du lit des rivières, & (496) qu'on pouvoit aussi, dans certains cas, employer le même moyen de canaux latéraux sur la troisième partie.

502. Supposons donc, 1°. que par les moyens cités (500 & 501), on perfectionne la navigation & le hallage de toutes les rivières de la France qui en seront susceptibles, tant par leur pente que par le volume de leurs eaux; 2°. que, dans le cas où le volume d'eau seroit insuffisant, on y supplée, soit par des canaux particuliers, soit par des déversoirs; 3°. qu'on substitue même le hallage à la flottaison par des canaux latéraux. Il est certain que, dans cette hypothèse, toutes les rivières de l'Etat auroient reçu tout le degré de perfection possible, relativement à la navigation intérieure; car il est visible qu'alors il n'y en auroit aucune qui ne pût être regardée comme un canal qui seroit, ou navigable à la voile, ou hallable.

Des grandes vallées de la France.

503. Nous avons vu (54) que les eaux pluviales avoient sillonné, de vallées, les continens & les isles. Ce sont les endroits les plus bas de ces vallées qui sont occupés par les rivières. La France en contient cinq de la première grandeur & plusieurs d'un ordre inférieur. Celles de la première grandeur sont les

les vallées du Rhin, du Rhône, de la Seine, de la Loire & de la Garonne. Les autres ſont principalement celles de la Somme, de la Charente, dé l'Adour, du Var. Enfin il y en a un grand nombre d'autres qui ſont moindres que les précédentes & qui ſont occupées par une foule de petites rivières dont nous venons de faire l'énumération. D'après le même n. 54, toutes ces vallées ſont ſéparées les unes des autres par des chaînes de montagnes qui ont plus ou moins d'élévation, ſuivant les localités & les endroits où on les compare. Ce ſont les crêtes ou lignes culminantes de ces chaînes qui forment la ligne de *marcation* de ces vallées.

En quoi conſiſteroit la navigation intérieure, priſe dans toute ſon extenſion.

504. Tout étant donc préparé & mis dans l'état mentionné au n. 502, la navigation intérieure, priſe dans toute ſon extenſion, ſuppoſeroit encore deux choſes. La première ſeroit des canaux de communication entre deux vallées conſécutives & adjacentes, qui franchiſſent, ſoit par des écluſes, ſoit par des percemens ſouterreins, les chaînes des montagnes qui les ſéparent. La ſeconde ſeroit de faire pareillement communiquer, par les mêmes moyens, ſoit avec les rivières, ſoit avec les canaux dont nous venons de parler, les principales villes qui ſe trouvent ſur les côtes, ou dans l'intérieur, & qui n'ont pas de rivières particulières.

Tel ſeroit le plan de la navigation intérieure, en mettant à contribution toutes les rivières que la nature nous a données, & tel eſt celui que bien des perſonnes, animées du bien public, ſe ſont propoſé. Nous ne pouvons pas nous diſſimuler, en effet, que, ſi un pareil plan pouvoit recevoir ſon exécution, la France ne devînt l'état le plus floriſſant de l'univers: car les canaux ſi vantés, ſoit de la Chine, ſoit de la Lombardie, n'auroient rien qui pût en approcher. Mais ce n'eſt pas tout de faire des projets, il faut encore qu'ils ſoient exécutables. Nous allons donc examiner ſi celui dont il s'agit eſt ſuſceptible d'exé-

cution; &, dans le cas de la négative, de quelle manière il doit être amendé pour pouvoir être exécuté.

Rapports ſous leſquels le bien public exige qu'on enviſage les projets.

505. Lorſqu'une compagnie financière entreprend un ouvrage, il faut que le produit annuel qu'elle en percevra, fourniſſe à tous les frais d'entretien & de régie, & que, de plus, elle trouve l'intérêt de ſes fonds à un denier aſſez haut, pour que, dans un tems déterminé, elle puiſſe ſe rembourſer de toutes ſes avances & des intérêts ordinaires y relatifs, & qu'après cette époque, tout ſoit bénéfice pour elle : c'eſt le ſeul calcul qui ſerve de baſe à ſes ſpéculations à cet égard, & elle n'en fait point d'autre. Le deſir d'opérer la proſpérité publique, motif qu'on ne ceſſe de mettre en avant ſuivant l'uſage, n'y entre ordinairement pour rien; l'intérêt particulier en eſt ſeul le mobile. Au contraire, lorſque le gouvernement ſe charge de l'exécution d'un projet, l'intérêt public en eſt toujours l'ame & la cauſe première. Or, l'intérêt public peut alors être enviſagé ſous quatre rapports, ſavoir : 1°. Lorſque le projet eſt utile au commerce de la généralité ou d'une grande partie de l'état; 2°. lorſqu'étant circonſcrit pour une contrée déterminée, il peut produire avec uſure l'intérêt des fonds; 3°. lorſqu'il peut améliorer, ſoit le ſol, ſoit le commerce d'un pays, & procurer à l'Etat une augmentation conſidérable de revenus, réſultante des impoſitions tant directes qu'indirectes; 4°. enfin, lorſque le pays, ſuppoſé d'ailleurs très-circonſcrit, étant mal-ſain par des marais, le projet tendroit à y rendre l'air ſalubre.

Nous allons examiner ſucceſſivement chacun de ces rapports.

Dans quels cas le gouvernement doit ſe charger de l'exécution de projets.

506. 1°. Lorſqu'un projet eſt utile au commerce de la généralité ou d'une grande partie de l'Etat, il n'y a aucun doute que le gouvernement ne doive prendre les moyens de l'exécuter; car l'objet d'un bon gouvernement doit être le bien général, & à défaut, celui du plus grand nombre.

2°. Lorſque le projet étant circonſcrit pour une contrée déterminée, il peut produire, avec uſure, l'intérêt des fonds; le gouvernement ne doit pas héſiter non plus à le mettre à exécution; car, dans ce cas, le gouvernement peut ſe regarder comme une compagnie financière qui a pour objet de placer avantageuſement ſes fonds. Or alors il en réſulte néceſſairement un bénéfice pour l'Etat.

3°. Le même avantage a également lieu pour l'Etat ſi, par l'amélioration, ſoit du ſol, ſoit du commerce d'une contrée, il en réſulte une augmentation de contributions, ſoit directes, ſoit indirectes, qui excède l'intérêt des fonds d'exécution. Par conſéquent il eſt viſible que l'Etat ne doit pas rejetter un projet de cette nature.

4°. Enfin, lorſqu'il s'agit de rendre ſalubre l'air d'une contrée, on ne peut pas mettre en problême ſi le gouvernement doit s'en occuper, quand même il placeroit ſes fonds avec perte, car nous ſommes tous membres de la grande famille de l'Etat. Or, ſi dans une famille il y a une partie ſouffrante, l'autre partie doit naturellement venir à ſon ſecours, & faire pour cela tous les ſacrifices que l'humanité exige.

Rapportons à préſent, à ces motifs, les diverſes parties qui doivent former l'enſemble du projet de la navigation intérieure telle que nous l'avons préſentée ci-deſſus (502 & 504).

La navigation des grandes rivières doit fixer l'attention du gouvernement.

507. La navigation de l'embouchure & de la première partie (499) de toutes les rivières déjà navigables, par le volume de leurs eaux, eſt ſans contredit un objet d'utilité générale, puiſque c'eſt par le moyen de ces rivières que les marchandiſes, venant de l'étranger, peuvent pénétrer dans l'intérieur, ſans verſement préliminaire. Ainſi, ſous ce rapport, la navigation des grandes rivières, telles que le Rhône, l'Adour, la Garonne, la Charente, la Loire, la Seine, la Somme & l'Eſcaut, doivent ſpécialement fixer l'attention du gouvernement; & comme il eſt très-intéreſſant, pour la proſpérité publique, d'économiſer

dans les frais de transport, il n'est pas douteux que l'Etat ne doive reculer, le plus qu'il sera possible, les limites de cette navigation, en augmentant la profondeur des eaux par les rétrécissemens prescrits dans la 1re. section.

Mais, dans ces opérations, on ne doit pas perdre de vue (445) que la navigation à la voile exige une certaine largeur de la part des rivières : d'où l'on doit conclure qu'une pareille tentative seroit inutile & déplacée sur un grand nombre de rivières d'un ordre inférieur, dont le volume d'eau est peu considérable, & auxquelles on ne pourroit procurer la profondeur requise par la navigation à la voile, sans retrécir le lit au-delà des bornes.

Une autre observation vient à l'appui de ce que nous disons. Nous avons vu (496) qu'il falloit établir des communications par eau entre les communes qu'on pourroit regarder comme des centres d'un commerce étendu. La plupart des grandes communes ont cet avantage. Or, elles sont ordinairement situées sur les rivières navigables dans la partie inférieure de leur cours. Par conséquent, l'intérêt du commerce exige que sur ces rivières, on pousse la navigation à la voile le plus loin possible (506 1°.).

Dans quel cas l'État doit favoriser le hallage des rivières, comme partie de la navigation intérieure.

508. Nous devons distinguer le hallage des grandes rivières dont nous venons de parler, du hallage des petites; & dans ce dernier, nous devons encore mettre une différence entre le hallage des rivières des pays de plaines, & celui des rivières des pays de montagnes.

Les grandes rivières ayant toujours un cours fort étendu (58), le hallage doit y être poussé le plus avant qu'il sera possible; & dans le cas où la pente seroit trop forte, il est à propos d'employer (476) des canaux latéraux convenablement soutenus, & dont les chûtes soient rachetées par des écluses. Cependant il n'en faudroit pas conclure qu'on doit porter ces canaux jusqu'à la source, car cette partie se trouvant ordinairement dans les

montagnes

montagnes (55), nous verrons bientôt que de pareilles entrepriſes y ſeroient de la plus grande inutilité : ainſi, à cet égard, le hallage doit ſe terminer à la dernière commune centrale de commerce, ou au canal qui fait communiquer cette rivière avec celle de la vallée voiſine (504). Par où l'on voit que ſur les grandes rivières, le hallage, tel que nous venons de le décrire, mérite d'être pris en conſidération par le gouvernement (506. 1°.).

Le hallage des petites rivières des pays de plaines mérite auſſi une attention particulière de la part du Gouvernement, & cela, par les raiſons ſuivantes. 1°. Ces rivières (160. 2°. & 175) ayant peu de pente, leur lit ſervira de canal. 2°. L'augmentation de profondeur s'y fera à peu de frais, par l'éloignement des ouvrages de rétréciſſement (458 2°.). 3°. La plupart de ces rivières, ſe dégorgeant dans les rivières du premier ordre, en augmenteront le commerce & les avantages. 4°. Quand même elles ſe jetteroient directement dans la mer, le commerce des pays ſitués ſur leurs cours, pourroit, par le cabotage, le long des côtes, & ſouvent même par des canaux particuliers, ſe lier avec celui des grandes rivières. 5°. Les pays de plaines ſont ordinairement plus peuplés & ont plus de richeſſes territoriales & induſtrielles que ceux de montagnes : par conſéquent, il eſt toujours avantageux de leur donner un débouché. 6°. La facilité de l'exportation fait diminuer le prix des denrées & des marchandiſes. 7°. Le roulage fatigueroit moins les routes & entraîneroit moins de dépenſes. 8°. Enfin on reſtitueroit beaucoup de bras & de chevaux à l'agriculture.

Le hallage des petites rivières des pays de montagnes n'a pas, à beaucoup près, les mêmes avantages, & ne doit pas obtenir la même protection de la part du Gouvernement. 1°. Leur pente exceſſive (160. 1°. & 175) exigeroit des canaux latéraux avec écluſes (476). 2°. Outre que ces canaux ſeroient fort coûteux, ils ſeroient ſouvent expoſés à être dégradés par des tor-

rens qui deſcendent des montagnes. 3°. Les pays de montagnes ſont généralement peu peuplés, & les habitans, y étant rarement à leur aiſe, y ont peu de ſuperflu. 4°. Par la même raiſon, il s'y fait peu de conſommation de marchandiſes étrangères. 5°. Enfin le point central n'y jouit jamais d'un commerce aſſez étendu, pour former un terme de navigation (496).

D'où il eſt aiſé de conclure (506 1°.) que le hallage, conſidéré relativement à la navigation intérieure de la France, ne peut avoir pour objet, d'une part, que les grandes rivières, priſes depuis l'endroit où la navigation à la voile ceſſe, juſqu'aux canaux qui feront communiquer deux vallées voiſines; & de l'autre, que les petites rivières des pays de plaines.

Venons à préſent à la partie de la flottaiſon.

Quelles ſont les rivières dont la flottaiſon doit être regardée comme faiſant partie de la navigation intérieure.

509. Nous diſtinguerons encore la flottaiſon des rivières des pays de plaines, de celles des pays de montagnes.

La première tient au ſyſtême général de la navigation intérieure, par les raiſons ſuivantes. 1°. Elle fait la ſuite du hallage de ces rivières. 2°. Elle facilite le tranſport de divers objets, aux endroits de dépôts pour le chargement des bateaux. 3°. Elle procure ſur-tout des bois de chauffage eſſentiellement néceſſaires aux grandes communes inférieures. 4°. Quoique ces rivières aient peu de profondeur d'eau, elles en ont néanmoins aſſez généralement, ſous une profondeur convenable, pour recevoir des bateaux fort plats qui ſont très-utiles pour les tranſports. A ces raiſons, nous pouvons ajouter les quatre dernières, relatives au hallage de ces mêmes rivières, & que nous avons détaillées au n°. précédent. Ainſi cette partie eſt un rameau de la navigation générale de l'intérieur, &, par conſéquent, elle ne doit pas être étrangère au gouvernement.

La ſeconde mérite les regards de la Nation, lorſqu'elle peut procurer des bois de charpente, ſoit navale, ſoit civile; mais ce cas excepté, on ne voit pas à quoi elle ſeroit utile. En effet, nous l'avons déjà dit (508), ces pays ſont peu peuplés, & les

habitans y ſont peu aiſés; rarement ils ont du ſuperflu : en procurant même un débouché par eau à ce ſuperflu, on provoque la deſtruction des forêts, pour faire des radeaux. Or, nous avons vu (146 & 152) les déſaſtres qui en réſulteroient.

Ainſi, dans le ſyſtême de la navigation intérieure, il ne doit y entrer que la flottaiſon des rivières en pays de plaines, & celle des rivières des pays de montagnes, lorſqu'on en peut tirer des bois de charpente civile ou navale (506. 1°.); ce cas excepté, elle ne doit pas fixer l'attention de la Nation.

510. Concluons donc de tout ce que nous venons de dire, que, pour opérer la navigation intérieure de la France, il faut : En quoi conſiſte réellement la navigation intérieure.

1°. Par des canaux de navigation joindre les principales rivières de l'Etat, ſoit entr'elles, ſoit avec les points centraux de commerce.

2°. Aſſurer la navigation à la voile de ces rivières à leur embouchure, & la pouſſer auſſi loin vers leur ſource, que peuvent le permettre leur pente & leur volume d'eau.

3°. Faciliter leur hallage, ſoit dans leur propre lit, quand elles ont peu de pente, ſoit par des canaux latéraux, lorſque cette pente eſt conſidérable, depuis le terme de la navigation à la voile, juſqu'aux canaux de communication entre deux vallées adjacentes.

4°. Pouſſer auſſi, le plus loin poſſible, le hallage & la flottaiſon de toutes les rivières des pays de plaines, ſoit qu'elles ſe jettent dans les grandes rivières, ſoit qu'elles ſe rendent directement à la mer.

5°. Enfin, effectuer, ou faciliter la flottaiſon des rivières des pays de montagnes, lorſqu'elles peuvent fournir des bois de charpente, ſoit civile, ſoit navale.

Il nous ſera aiſé, d'après ces principes, de fixer nos idées ſur la navigation intérieure, & de faire voir en quoi conſiſtent les ouvrages à exécuter. Pour cela, nous allons puiſer, dans le rapport que le citoyen Marragon a fait à la Convention natio-

nale, le 24 fructidor de l'an 3, les matériaux qui ſe rapportent à cet objet. Nous ſuppléerons à quelques omiſſions qu'il y a faites, par nos propres obſervations, & nous élaguerons de ſon ouvrage tout ce qui n'entre pas dans notre plan.

Nous poſons, en principe, que la navigation dont il s'agit doit être entièrement intérieure, &, par conſéquent, abſolument indépendante de la navigation maritime; car il faut que, dans le cas d'une guerre ſur mer, les diverſes parties de l'Etat puiſſent communiquer entr'elles par eau.

Communication de Marſeille avec Bordeaux & Bayonne.

511. La navigation, dans le Midi, doit ſe diriger de l'Eſt à l'Oueſt: ſes termes centraux ſeront Marſeille à l'Eſt, Bordeaux & Bayonne à l'Oueſt.

1°. De Marſeille, on doit aboutir à l'étang de Berre, près de Marignanne, par le moyen d'un canal qui paſſeroit au Rove, où ſeroit placé le point de partage, & qui ſeroit alimenté par le canal à dériver de la rivière d'Arc à Langeſſe, décrété en notre faveur, le 21 mai 1791.

2°. De l'étang de Berre, près de Marignanne, on paſſeroit à Martigues, & on ſe rendroit au port de Bouc, par l'étang & par les canaux de Martigues.

3°. Du port de Bouc, on ſe rendroit au Rhône pris à Arles, par le moyen d'un canal navigable & alimenté par celui des Alpines, ci-devant de Boisgelin, dont nous avons déjà parlé au n. 452, & dont nous avons dreſſé les plans par ordre des ci-devant états de Provence.

4°. Du Rhône pris à Arles, on remonteroit le fleuve juſqu'à la pointe de l'iſle de Camargue, & enſuite on deſcendroit le petit Rhône juſques vis-à-vis Saint-Gilles.

5°. De cet endroit, on ſe rendroit au canal de Saint-Gilles à Aigues-Mortes, par un canal particulier à conſtruire, d'environ 1200 toiſes de longueur.

6°. De Saint-Gilles, on aboutira à Aigues-Mortes par le canal qui communique du premier de ces endroits au ſecond,

& qui fait partie de celui projetté d'Aigues-Mortes à Beaucaire.

7°. D'Aigues-Mortes, on arrivera à Cette, en paſſant ſucceſſivement par le canal de la Radelle, l'étang de Maugnio, le canal des Étangs & celui de la Peyrade.

8°. De Cette, par le canal du Midi, ci-devant de Languedoc, on aboutira à la Garonne priſe à Toulouſe.

9°. De Toulouſe, on arrivera à Bordeaux, en ſuivant le courant de la Garonne.

Mais ſi, de Bordeaux, il falloit remonter cette rivière juſqu'à Toulouſe, on éprouveroit les plus grands retards par la rapidité des eaux. C'eſt pour cette raiſon que (476), depuis l'endroit où la pente de la rivière commence à être trop forte pour le hallage juſqu'à Toulouſe, il faut néceſſairement exécuter un canal latéral dont les chûtes ſeront rachetées par des écluſes.

10°. Enfin, pour aboutir à Bayonne, arrivé à Aiguillon, près de l'embouchure du Lot, on entreroit dans le canal projetté depuis cet endroit juſqu'au Midon, pris à Mont-de-Marſan; d'où, par la voie du Midon, qui ſeroit par-tout rendu hallable par les moyens indiqués aux n. 476 & 479 reſpectivement, on arriveroit à l'Adour, &, par cette derniére rivière, à Bayonne.

Par où l'on voit que, par cette route, tous les départemens du Midi pourroient facilement, & par la navigation à la voile, ou par le hallage, communiquer entr'eux.

Communication de Marſeille : 1°. Avec la vallée du Rhin.

512. La vallée du Rhône & celle de la Saône & de ſes affluens, combinées avec celle du Rhin, nous fourniſſent le moyen de faire communiquer directement Marſeille avec tous les pays ſitués ſur ce dernier fleuve, ſur la Moſelle, la Meuſe & leurs affluens, & avec la Suiſſe & le Mont-Blanc.

1°. De Marſeille à Arles, on ſuivroit la route tracée ci-deſſus (511. 1°. 2°. & 3°.).

2°. D'Arles, on remonteroit le Rhône, à la voile (441), ou au hallage juſqu'à Beaucaire.

3°. De Taraſcon à Avignon, on remonteroit le fleuve, au hallage excluſivement.

4°. D'Avignon à Lyon, on ſuivroit un canal latéral à exécuter, à cauſe de la grande rapidité du courant (476).

5°. A Lyon, on entreroit, du Rhône, dans la Saône qu'on rendroit hallable (479) par-tout où elle n'auroit pas aſſez de profondeur, & on la remonteroit juſqu'à l'embouchure du Doubs.

6°. On rendroit pareillement le Doubs hallable (476 & 479) & on le remonteroit juſqu'aux environs de Mont-Belliard.

7°. En cet endroit, on quitteroit le Doubs pour entrer dans le canal de jonction de cette rivière & de celle d'Ill, par Valdieu, canal projetté par le citoyen Bertrand, ancien inſpecteur général des Ponts & Chauſſées, & décrété ſous la dénomination de *canal de l'Eſt*, par le moyen duquel on aboutiroit à la rivière d'Ill, & l'on entreroit dans la vallée du Rhin.

8°. On ſuivroit la rivière d'Ill, depuis l'iſſue du canal de l'Eſt juſqu'au-deſſous de Strasbourg, où elle entre dans le Rhin. On auroit ſoin de la rendre hallable ſur toute cette partie de ſon cours, par les moyens indiqués aux n. 476 & 479.

9°. Depuis l'embouchure de l'Ill, on ſuivroit le Rhin juſqu'à la fin de ſon cours, en ayant ſoin de lui ſubſtituer un canal latéral avec écluſes (476), dans toute la partie où il y auroit trop de rapidité pour la remonte.

4°. Avec la vallée de la Moſelle.

Pour établir la communication entre la vallée de la Saône & celle de la Moſelle;

10°. On rendra (476 & 479) la Saône hallable, & on la remontera juſqu'à Jonvelle.

11°. En cet endroit, on entreroit dans le canal projeté de communication entre la Saône & la Moſelle.

12°. En ſortant de ce canal, on entreroit dans la Moſelle, qu'on rendroit hallable par les moyens indiqués (476 & 479) juſqu'à ſon embouchure dans le Rhin à Coblentz, aux endroits où elle ne le ſeroit pas.

Pour établir la communication entre la vallée de la Saône & celle de la Meuſe; 3°. Avec la vallée de la Meuſe.

13°. Arrivé à Toul, on quittera la Moſelle pour entrer dans le canal projetté de Toul à Pagny, & deſtiné à faire communiquer cette rivière avec la Meuſe.

14°. A Pagny, on entrera dans la Meuſe, qu'on ſuivra juſqu'à ſon embouchure dans le Rhin, & qu'on aura ſoin (476 & 479) de rendre hallable, par-tout où les localités l'exigeront.

Enfin, pour établir la communication entre Lyon & le lac de Genève; 4°. Avec la Suiſſe & le Mont-Blanc.

15°. On remontera le Rhône juſqu'à la hauteur de Seiſſel, par un canal latéral (476).

16°. A la hauteur de Seiſſel, on entrera dans le canal projetté depuis cette commune juſqu'à Verſoix, où l'on trouve le lac, par le moyen duquel on communiquera avec la Suiſſe & le département du Mont-Blanc.

Ainſi, 1°. par le Rhône, la Saône & le Doux; 2°. par le Rhin, la Moſelle & la Meuſe; 3°. par quelques canaux intermédiaires, on fera communiquer, entr'eux, tous les départemens de l'Eſt & du Nord, depuis Marſeille juſqu'à l'embouchure de l'Eſcaut.

513. Lions, par un canal, la vallée du Rhône à celle de la Loire, & nous établirons une communication entre Marſeille & Nantes. En effet:

1°. De Marſeille, on aboutira à Châlons-ſur-Saône, par la route indiquée ci-deſſus (512. 1°. & 5°.). Communication de Marſeille avec Nantes.

2°. A Châlons, on entrera dans le canal en exercice, dit

canal du Centre, connu ci-devant ſous le nom de canal de Charolais, & l'on aboutira à la Loire, priſe à Digoin.

3°. De Digoin, on ſuivra la Loire juſqu'à Nantes & à Paimbœuf, en adouciſſant, par-tout où il ſera néceſſaire, ſon hallage, par les moyens indiqués (476 & 479).

Communication de Marſeille avec Paris & la vallée de la Seine.

514. Par la même voie & par les canaux de Briare & d'Orléans, Marſeille communiquera avec Paris, Rouen, & tous les pays ſitués ſur la Seine & ſur ſes affluens.

1°. On arrivera à Digoin par la route preſcrite ci-deſſus (513. 1°. & 2°.).

2°. De Digoin, par la Loire, ou par le canal latéral (476), on aboutira au canal de Briare.

3°. Par le canal de Briare on arrivera à la Seine.

4°. De ce dernier point, on ſe rendra à Paris, Rouen, &c.

Communication de Marſeille avec la vallée de la Somme.

515. C'eſt encore par la même route, que Marſeille communiquera avec la vallée de la Somme.

1°. Par la voie preſcrite au n. précédent, on arrivera à la rivière d'Oiſe.

2°. On remontera l'Oiſe juſqu'à Chauny.

3°. On paſſera de la vallée de la Seine, à celle de la Somme, par le canal en exercice de Chauny à Saint-Quentin.

4°. En ſortant de ce canal, on entrera dans la Somme, par laquelle on communiquera avec Péronne, Amiens, Abbeville, &c.

Communication de Marſeille avec la vallée de l'Eſcaut, la Belgique & la Hollande.

516. Enfin, en joignant, par un canal, la vallée de la Somme à celle de l'Eſcaut, Marſeille communiquera avec la Belgique & la Hollande.

1°. Par le n. 515. 1°. & 3°., on arrivera à la Somme.

2°. En finiſſant le canal commencé, du citoyen Laurent de Lyonne, on aboutira à l'Eſcaut à la hauteur de Cambrai.

3°. En perfectionnant la navigation de l'Eſcaut (476 & 479), on parviendra aux frontières de la Hollande.

517. L'on voit par-là quels ſont les moyens de faire communiquer

muniquer Marſeille, que nous devons regarder comme premier point central du commerce, avec les vallées de la Garonne, du Rhône, du Rhin, de la Loire, de la Seine & de la Somme. Mais ce n'eſt pas tout; il faut encore procurer le même avantage à Bordeaux, autre point central eſſentiel. Cette place pourroit, à la vérité, communiquer avec les vallées du Rhin, de la Somme, de la Seine & de la Loire, par le canal du Midi, & par le Rhône pris à la hauteur de Saint-Gilles (511. 5°. & 9°., 512. 2°. & 14°., 513 & 516.). Mais l'inſpection de la carte fait voir qu'il y a des routes moins longues qui peuvent remplir cet objet, en vivifiant les pays intermédiaires. C'eſt de quoi nous allons nous occuper.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Loire.

518. Pour établir une communication entre Bordeaux & la vallée de la Loire;

1°. On paſſera, de la Gironde, à la rivière de Seugne par le moyen d'un canal projetté par le citoyen Lallemand.

2°. On rendra hallable la Seugne par quelqu'un des moyens preſcrits aux n. (476, 477 & 479), & l'on aboutira, par cette voie, à la Charente.

3°. De l'embouchure de la Seugne, on remontera la Charente juſqu'à Civrai, en ayant ſoin de la rendre hallable aux endroits où elle ne le ſera pas (476, 477 & 479).

4°. A cette hauteur, on paſſera dans la rivière de Clain par le canal projetté de jonction de cette rivière avec la Charente, de Civrai à Vareilles.

5°. On rendra le Clain hallable (476, 477 & 479) depuis Vareilles, juſqu'à ſon embouchure, &, en le deſcendant, on arrivera à la Loire, à Montmozeau, d'où l'on pourra communiquer avec tous les pays ſitués ſur ſon cours, depuis Paimbœuf juſqu'à Digoin.

On doit remarquer en paſſant, qu'arrivé à la Charente (1°. & 2°.), on pourra, par cette rivière, communiquer avec Rochefort.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Seine.

519. Bordeaux communiquera avec la vallée de la Seine par la route ſuivante :

1°. On arrivera, de Bordeaux, à la Loire priſe à Montmozeau, par la voie tracée au n. précédent.

2°. De Montmozeau, on remontera la Loire juſqu'à la hauteur du canal d'Orléans.

3°. Par le canal d'Orléans & par le Loing, on paſſera dans la Seine.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Somme.

520. Par la route qui ſuit, Bordeaux communiquera avec la vallée de la Somme.

1°. On aboutira à la Seine par la route preſcrite au n. précédent.

2°. On deſcendra la Seine juſqu'à l'embouchure de l'Oiſe.

3°. De l'embouchure de l'Oiſe, on arrivera à la Somme par la route preſcrite ci-deſſus (515. 2°., 3°. & 4°.)

521. Il s'agit à préſent de faire communiquer Bordeaux avec la vallée du Rhin. Sur cela nous devons obſerver que le Rhin, depuis ſon entrée ſur les terres de la France juſqu'à ſes embouchures, ayant une très-vaſte étendue, doit être conſidéré, comme renfermant quatre vallées particulières ſur ſa gauche, ſavoir : 1°. celle du Haut-Rhin ; 2°. celle de la Moſelle ; 3°. celle de la Meuſe ; 4°. enfin celle de l'Eſcaut. Nous ne propoſerons donc pas, pour aboutir de la Gironde à l'Eſcaut, d'arriver préalablement au Haut-Rhin ; mais, à l'imitation de ce que nous avons dit à ce ſujet (512), nous tracerons des routes partielles pour l'Eſcaut, la Meuſe, la Moſelle & le Haut-Rhin.

Communication de Bordeaux avec la vallée de l'Eſcaut.

522. De Bordeaux, à la vallée de l'Eſcaut, la route ſera telle qu'il ſuit.

1°. On arrivera, à la Somme, par la voie preſcrite au n. 520.

2°. Par la route tracée au n. 516, on aboutira juſqu'à l'embouchure de l'Eſcaut.

523. Bordeaux communiquera avec la vallée de la Meuſe, par la voie qui ſuit. Communication de Bordeaux avec la vallée de la Meuſe.

1°. On arrivera à l'embouchure de l'Oiſe, par la route preſcrite au n. 520. 1°. & 2°.

2°. On remontera l'Oiſe juſqu'à l'embouchure de l'Aiſne.

3°. On rendra l'Aiſne hallable (476, 477 & 479), & on la remontera juſqu'aux environs d'Attigny.

4°. En cet endroit, on entrera dans le canal projetté de communication entre l'Aiſne & la Meuſe, priſe aux environs de Stenay.

5°. A l'iſſue de ce canal, on entrera dans la Meuſe par le moyen de laquelle on pourra pénétrer juſqu'en Hollande.

524. Avant de parler de la route de Bordeaux à la Moſelle, nous allons tracer celle de la même commune à la vallée du Haut-Rhin. Pour y arriver: Communication de Bordeaux avec la vallée du Haut-Rhin.

1°. Par la route rétrograde de celle expoſée au n. 511. 4°. & 9°., on aboutira au Rhône, pris à la pointe de l'iſle de Camargue.

2°. De-là, par la voie décrite au n. 512. 2°. & 9°., on arrivera au Rhin, qu'on pourra parcourir dans tout ſon cours, en aval.

525. De Bordeaux à la Moſelle, on aura deux routes à choiſir. Communication de Bordeaux avec la vallée de la Moſelle.

Première route. 1°. Par la voie décrite au n. précédent, on remontera juſqu'à l'embouchure du Doubs.

2°. Depuis cet endroit, on ſuivra la route décrite ci-deſſus (512. 10°. & 12°.).

Seconde route. 1°. Par la voie expoſée au n. 523. 1°. & 4°., on aboutira à la Meuſe, près de Stenay.

2°. En cet endroit, on remontera la Meuſe juſqu'à Pagny.

3°. De Pagny, par l'inverſe de la route décrite au n. 512. 13°. & 14°., on arrivera à la Moſelle, qu'on pourra deſcendre juſqu'au Rhin.

526. Enfin, de Bordeaux au lac de Genève, on ſuivra la route que nous allons décrire. Communication de Bordeaux avec le lac de Genève.

1°. On arrivera au Rhône, pris à la pointe de l'iſle de Camargue, d'après ce que nous avons dit au n. 524. 1°.

2°. De cet endroit, on arrivera à Lyon, par la route expoſée au n. 512. 2°. & 4°.

3°. De Lyon, on aboutira au lac de Genève, par la voie décrite au n. 512. 15°. & 16°.

Ces communications rempliſſent l'objet de la navigation intérieure.

527. Telle eſt, & telle nous paroît devoir être la navigation intérieure de la France, priſe dans ſa véritable acception. Elle doit néceſſairement former une ligne non interrompue, qui embraſſe tout le pourtour de l'Etat, & qui circule, par des canaux, ſoit naturels, ſoit artificiels, autour de la grande maſſe de montagnes de la ci-devant Auvergne, que la nature a placées au centre de notre territoire. Dans l'eſpace compris par cette ligne, on voit la Loire & la Seine former deux diagonales, & porter, ſoit directement & par elles-mêmes, ſoit indirectement & par leurs affluens, un commerce conſidérable aux principales villes de la République.

On voit auſſi que, par ce tracé, ces mêmes villes peuvent communiquer, ſans faire de bien grands détours, avec les places les plus reculées. Prenons pour exemple Paris.

1°. Elle communiquera facilement avec l'Eſcaut (515. 2°. & 3., & 516. 2° & 3°.).

2°. Elle communiquera avec la Meuſe (523. 2°. & 5°.).

3°. Elle communiquera avec la Moſelle, par la 2e. route du n. 525.

4°. Elle communique déjà avec la Loire, par le Loing & les canaux de Briare & d'Orléans.

5°. Elle communique auſſi avec le Rhône, par le Loing, les deux canaux que nous venons de citer, la Loire, le canal du Centre & la Saône.

6°. Elle communiquera avec le Haut-Rhin, par la Saône, le Doubs, le canal de l'Eſt & l'Ill, ou, ſi l'on veut, par la

Meuſe, le canal de Toul, la Moſelle, le canal de Jonvelle, la Saône, le Doubs, le canal de l'Eſt & l'Ill.

7°. Elle communiquera avec Marſeille par la route ci-deſſus (5°.) & par l'inverſe de celle décrite au n. 512. 2°. & 4°.

8°. Elle communiquera avec le lac de Genève, par la même route ci-deſſus (5°. & par l'inverſe de celle tracée au n. 512. 15°. & 16°.

9°. Elle communiquera avec Bordeaux, par l'inverſe de la route du n. 519.

10°. Enfin elle communiquera avec Bayonne, par la voie de Bordeaux, & depuis cette ville, par la Garonne & par la route décrite au n. 511. 10°.

Il eſt facile de démontrer, d'une manière ſemblable, qu'une pareille communication aura auſſi lieu pour toutes les villes qui ſeront placées, ſoit ſur la ligne de circonſcription, ſoit ſur les deux diagonales, ſoit enfin ſur les affluens hallables qui y aboutiſſent.

528. La navigation intérieure, telle que nous venons de la décrire, eſt réellement un projet de la nature de celui mentionné au n. 506. 1°.; car il eſt viſible qu'il intéreſſe la généralité de l'Etat. A la vérité, les trajets ſeront plus longs que par terre; mais on doit ſavoir qu'un canal, ſoit naturel, ſoit artificiel, n'eſt pas un chemin; que, dans le premier cas, la nature en a fixé la route, & que, dans le ſecond cas, on eſt aſſujetti aux localités qu'on ne peut pas changer, & à la loi impérieuſe du niveau, qui n'admet pas de modification. D'ailleurs, quelle que ſoit l'augmentation du trajet, on en eſt toujours bien amplement dédommagé par la facilité des tranſports. Car quand même un cheval, par le hallage, ne traîneroit que le décuple du poids qu'il peut voiturer par terre, on ſent qu'il y auroit encore beaucoup à gagner. Ajoutons à cela qu'il en réſulteroit toujours, en outre, les avantages mentionnés au n. 508.

Quant aux embranchemens à effectuer par des rivières qui communiqueroient immédiatement avec les lignes principales de la navigation, ou qu'on y joindra par le moyen de canaux particuliers & qu'on aura convenablement disposés au hallage, nous pouvons dire que ces sortes de projets, ne regardant pas la généralité, ne peuvent fixer l'attention du Gouvernement que dans les cas mentionnés au n. 506. 2°., 3°. & 4°.

Ouvrages à exécuter pour la navigation intérieure.

529. L'on voit, par tout ce que nous venons de dire, que la plupart des rivières que nous avons indiquées, comme devant entrer dans le système de la navigation intérieure, ont besoin d'être modifiées sur une partie de leur cours & préparées au hallage de remonte, soit par des rétrécissemens (479), soit par des déversoirs (477), soit enfin par des canaux latéraux (476). Dans ce dernier cas, les canaux, devant être souvent alimentés par des eaux presqu'habituellement chargées de limon, ont besoin d'être construits avec des précautions particulières, pour éviter les emcombremens des retenues & des sacs des écluses. D'autre part, on pourra mettre à profit les chûtes au droit des écluses, pour la construction de diverses machines qui favoriseront la partie industrielle. Enfin, lorsque les rivières, d'où on dérivera ces canaux, seront considérables, comme le Rhône, la Loire & la Garonne, on pourra aussi, très-avantageusement dans certains cas, réunir le hallage des canaux avec l'arrosage. Au surplus, ce sujet est aussi vaste qu'intéressant: nous ne pouvons ici que laisser entrevoir les difficultés & les avantages: mais nous nous réservons à traiter la chose à fond dans un ouvrage particulier sur les canaux de navigation.

Canaux de communication entre deux vallées.

530. L'on voit aussi que ce projet de navigation intérieure, exige un grand nombre de canaux destinés à faire communiquer les rivières, les unes avec les autres. Parmi ces canaux, il est possible qu'il s'en trouve quelques-uns qui puissent être alimentés par l'une des deux rivières à joindre, en tirant, d'une certaine hauteur, un canal de dérivation. La chose aura lieu,

dans le cas ou l'une des deux rivières à joindre auroit beaucoup de pente & l'éminence intermédiaire peu de hauteur. Mais, le plus ſouvent, ces canaux ne peuvent ſe fournir que d'eau de pluie : dans ce cas, il faut avoir recours aux réſervoirs, tels que celui de Saint-Ferréol, qui alimente le canal du Midi. Comme ce ſujet n'a jamais été traité, quoiqu'infiniment eſſentiel, & qu'il eſt la baſe de notre projet d'arroſement pour les vallées de l'Arc, Marignanne & Marſeille, dans le département des Bouches-du-Rhône, nous le développerons dans le traité que nous publierons bientôt ſur les canaux d'arroſage.

Réflexions ſur les canaux ſouterreins.

531. Nous ne connoiſſons pas aſſez les localités, pour pouvoir dire ſi certains de ces canaux exigeront d'être pratiqués dans des percemens ſouterreins, comme celui de jonction de la Somme & de l'Eſcaut, ci-devant connu ſous le nom de *Canal de Picardie ;* mais, dans tous les cas, nous penſons qu'on doit éviter ces ſouterreins autant qu'il ſera poſſible, & qu'on ne doit les employer que lorſque les localités le commandent impérieuſement : car on ne peut jamais ſavoir ce qu'on rencontrera dans le ſein d'une montagne ; & ſi, malheureuſement, après avoir déjà fait des dépenſes conſidérables, on trouve, ſur ſes pas, un gouffre, ou une ſource abondante, on ſeroit inévitablement obligé d'abandonner les ouvrages, & de prendre une autre route. Auſſi l'expérience prouve-t-elle que ces ſortes de travaux ſont toujours ſujets à beaucoup d'inconvéniens, & que le ſuccès en eſt ordinairement fort précaire.

Réflexions ſur le canal ci-devant de Picardie.

532. Puiſque nous en ſommes ſur les canaux ſouterreins, il ne ſera pas hors de propos de dire un mot ſur le percement ſouterrein du canal ci-devant de Picardie. On ſait que ce percement devoit avoir environ 7000 toiſes de longueur, & qu'il eſt déjà conſidérablement avancé : on ſait auſſi qu'il a été fort improuvé par des perſonnes infiniment recommandables par la profondeur de leurs lumières, & que leur improbation eſt particulièrement fondée ſur le peu de largeur du canal, & ſur la

grande réſiſtance qu'éprouveront les bateaux, de la part d'un fluide qui, dans ce cas, doit être regardé comme extrêmement défini, par le peu d'eſpace qui reſtera entre les parois du canal & le corps des bateaux.

Nous ne pouvons pas nous diſſimuler que ces raiſons ne ſoient véritablement fondées en principes. Cependant, examinons les choſes de près. Suivant les expériences ſur les réſiſtances des fluides, faites par les citoyens Boſſut, d'Alembert & Condorcet, la réſiſtance d'un fluide défini n'eſt que double de celle d'un fluide indéfini. Par conſéquent, dans le canal ſouterrein dont nous parlons, le hallage exigera deux fois plus de force, ou deux fois plus de tems, que ſi cette partie du canal avoit été conſtruite, à ciel ouvert, avec de plus grandes dimenſions tranſverſales. Or, ſi on l'avoit conſtruit à ciel ouvert, dans le cas ou la choſe auroit été poſſible, elle eût pu avoir, & même probablement elle auroit eu une longueur au moins deux fois plus conſidérable. Donc, alors, il y auroit eu compenſation.

Qu'on regarde donc cette partie du canal, comme ſi elle étoit à ciel ouvert, d'une longueur double & avec de plus grandes dimenſions. Dans ce cas, on ſeroit deux fois plus de tems à la parcourir. Mais on ſait que, ſur un auſſi petit intervalle, le tems perdu, par l'excès de réſiſtance, ou par la duplication de la longueur, ne ſera tout au plus que de quelques heures. Or, dans un ouvrage de cette nature, la choſe n'en vaut pas aſſez la peine pour s'y arrêter.

Ainſi nous penſons que, ſans s'attacher à ces difficultés, il ne pourroit être que très-avantageux, tant à la proſpérité publique, qu'aux intéreſſés à l'entrepriſe, que le percement ſouterrein fût fini & le canal de jonction perfectionné dans toute ſon étendue.

Du reſte, ce que nous diſons à ce ſujet, n'eſt point dicté par un eſprit de contradiction: nous ſommes pénétrés d'eſtime pour les perſonnes qui ſe ſont élevées contre ce ſouterrein, & d'ailleurs,

d'ailleurs, nous adhérons à leurs principes. Mais nous croyons que l'on peut enviſager les choſes ſur les rapports que nous venons de préſenter, & que cette manière de voir doit naturellement lever toutes les difficultés qu'on peut propoſer à cet égard.

Précautions à prendre pour effectuer le projet de la navigation intérieure.

533. Le projet de la navigation intérieure de la France eſt, comme l'on voit, de la plus haute importance, & ſi jamais il étoit exécuté, on ſent qu'il rendroit cet Etat un des plus floriſſans qu'il y ait ſur la ſurface du globe. Mais ce n'eſt pas l'ouvrage d'un jour, ni même d'une génération. Cependant il ſeroit digne de la ſageſſe du Gouvernement de prendre de loin toutes les meſures & de préparer tous les moyens qui peuvent tôt ou tard contribuer à ſon exécution. Ainſi, il ſeroit à deſirer que le conſeil des ponts & chauſſées fût chargé de l'examiner mûrement, & d'en arrêter la route & toutes les parties; qu'enſuite de cette déciſion, les ingénieurs des départemens reſpectifs euſſent ordre, chacun dans ſon arrondiſſement, d'en lever les plans ſur la même échelle, & d'en dreſſer les devis, d'après le plan général arrêté, & que tous ces plans & devis partiels fuſſent envoyés à la Commiſſion des travaux publics, pour rédiger un plan & un devis général, & faire le relevé de tous les frais qu'une pareille entrepriſe exigeroit.

Ce ſeroit d'après tous ces préliminaires, qu'on pourroit ſtatuer, tant ſur l'ordre à ſuivre dans l'exécution, que ſur les fonds annuels qu'on pourroit y employer, & ſur les moyens de ſe les procurer.

SECTION V.

De la Navigation à la voile par la Seine jusqu'à Paris.

La navigation de la Seine à la voile, souvent proposée.

534. DEPUIS des siècles, on agite la question de savoir s'il ne seroit pas possible de faire remonter la Seine aux vaisseaux qui arrivent à Rouen, & d'établir un port à Paris. On a fait, à ce sujet, diverses vérifications; on a dressé divers mémoires, & en dernière analyse, on s'est borné à parcourir le lit de la rivière, & à écrire sans donner suite à aucun projet. Nous avons vu dernièrement un lougre aborder au pont de la Révolution : ce navire a ranimé les espérances presqu'éteintes de la navigation dont nous parlons; mais il ne tiroit que cinq pieds d'eau, & certes, ce seroit bien peu de chose pour mettre Paris à portée de faire le même commerce que Rouen.

Dans l'idée de faciliter cette navigation, on a proposé de redresser, par des canaux, le lit sinueux de la rivière. Mais ces redressemens, en augmentant la pente, auroient réellement diminué la profondeur des eaux : d'ailleurs, nous verrons qu'ils entraîneroient les plus grands inconvéniens.

D'autres enfin, en divers tems, ont proposé différens projets de canaux, dont l'objet principal étoit, ou de rendre la navigation de la Seine plus aisée, ou d'augmenter les communications de Paris. Parmi ces derniers, on distingue sur-tout celui du citoyen Lemoine, ayant pour but de faire communiquer cette rivière avec l'Océan pris à Dieppe.

Dans cette section, nous allons donner nos idées sur la manière que nous croyons la plus simple, non-seulement pour

faire arriver à Paris les vaiſſeaux qui s'arrêtent à Rouen, mais encore pour procurer à la Seine la plus grande navigation dont elle eſt ſuſceptible.

La Seine a la pente convenable, mais trop peu de profondeur d'eau pour la navigation à la voile.

535. D'après ce que nous avons dit (441 & 442), toute rivière qui a la profondeur d'eau convenable, & qui ne charie que du ſable ou du limon, ou qui chariant du gravier, n'a pas au-delà de 3 pouces & demi de pente ſur 100 toiſes de longueur, eſt navigable à la voile. Or, de Rouen à Paris, & même fort au-deſſus, la Seine ne charie point de gravier; & d'ailleurs les nivellemens prouvent que ſa pente, loin d'être au-delà de 3 pouces & demi ſur 100 toiſes, n'eſt pas même de 2 pouces. Ainſi la pente eſt telle que l'exige la navigation à la voile.

Quant à la profondeur des eaux de cette rivière, on doit remarquer: 1°. qu'à ſon embouchure, il y a des barres formées par les dépôts, qui ne permettent le paſſage qu'à des navires de moyenne grandeur, & tels qu'ils ne prennent pas au-delà de 9 pieds d'eau, ainſi qu'on en peut juger par les vaiſſeaux qui arrivent à Rouen; 2°. que dans la partie reſtante de ſon cours, la profondeur des eaux y eſt très-inégale; qu'il y a un grand nombre d'endroits où cette profondeur, dans les baſſes eaux, eſt de 12, 15, & même 18 pieds, & qu'il y en a d'autres où elle n'eſt que de 4 à 5 pieds.

Par conſéquent, la navigation de la Seine, pour être perfectionnée, exigeroit que la moindre profondeur, dans le tems des baſſes eaux, fût de 12 pieds ou environ. On peut déjà voir, par ce qui précède, qu'il y a des moyens de forcer la rivière à prendre elle-même cette profondeur en amont de ſon embouchure. Mais dans cette dernière partie, la choſe eſt impoſſible (270); & pour y remédier, il faut néceſſairement recourir à un canal latéral (451). Comme nous ſavons que des ingénieurs très-inſtruits s'en occupent, nous n'en dirons pas davantage. Nous nous bornerons à la navigation en amont de l'embouchure juſqu'à Paris.

Les ſinuoſités ne ſeroient pas un obſtacle à la navigation à la voile.

536. Nous avons dit (446) que la navigation à la voile exigeoit que les ſinuoſités du lit de la rivière ne fuſſent pas trop dures. Or, ſi l'on jette les yeux ſur le cours de la Seine, on verra que ſon lit, exceſſivement tortueux, a préciſément ce défaut, qui eſt un obſtacle à la navigation. Cependant, comme il eſt très-rare que le vent ſoit tout-à-fait contraire, & qu'il y a ordinairement plus ou moins de dérive, ſi l'on pouvoit ſe procurer par-tout la profondeur d'eau néceſſaire, ces ſinuoſités ne ſeroient point un obſtacle abſolu. Nous ajouterons même, qu'à raiſon de la multiplicité de ces ſinuoſités, ſi le vent étoit tout-à-fait contraire, ce ne pourroit être que ſur un très-court eſpace; auquel cas le pis ſeroit de ſe faire haller ou remorquer ſur cet intervalle.

On peut lever l'obſtacle oppoſé par les iſles.

537. Un autre obſtacle, à la navigation de la Seine, eſt cette multitude d'iſles qui ſont répandues, dans ſon lit, tout le long de ſon cours. L'expérience fait voir que ces iſles gênent même le hallage. Cependant cet obſtacle ſeroit aiſé à détruire, ainſi que nous l'avons déjà dit (454), ſi l'on pouvoit obtenir une plus grande profondeur d'eau.

On peut auſſi lever celui oppoſé par les ponts.

538. Il y a auſſi, ſur le cours de la rivière, divers ponts dont les arches formeroient un obſtacle au paſſage des navires mâtés. Mais cet obſtacle ſeroit aiſé à lever (463) ſi l'on avoit profondeur d'eau.

Le défaut de profondeur d'eau, eſt la ſeule difficulté.

539. Ainſi, d'après ce que nous venons de dire (535 & 538), on voit que la Seine eſt parfaitement ſuſceptible de la navigation à la voile; que tous les obſtacles mentionnés dans les 3 derniers n. peuvent facilement être levés ou modifiés; & qu'il n'y a réellement que le défaut de profondeur d'eau, en divers endroits, qui empêche, dans l'état actuel des choſes, que les vaiſſeaux qui abordent à Rouen ne remontent juſqu'à Paris, ainſi que l'exigeroit l'importance de cette vaſte cité & le bien général de l'Etat.

540. Cette difficulté a été parfaitement ſentie dans tous les tems; auſſi, preſque tous les anciens projets avoient-ils, pour premier objet, d'approfondir le lit de la rivière. Mais on n'a jamais imaginé de forcer le courant, par des moyens ſimples & économiques, à effectuer lui-même cet approfondiſſement; on penſoit ſeulement à l'opérer à main d'homme: or, dans ce cas, la choſe devenoit moralement impoſſible; & c'eſt ſans doute la raiſon pour laquelle tous ces projets ont été abſolument perdus de vue.

Projet propoſé par les ingénieurs qui ont remonté la Seine à bord du lougre le *Saumon*.

541. Les ingénieurs, qui dernièrement ſont venus à bord du lougre, depuis le Hâvre juſqu'à Paris, ne paroiſſent pas avoir d'autre objet que de faire naviguer de pareils navires ſur la Seine, &, à cet effet, de débarraſſer ſon lit des divers obſtacles qui l'obſtruent en certains endroits, & que les nautonniers appellent des *nuiſances*; mais ils n'ont pas en vue d'y faire naviguer des vaiſſeaux qui prennent une plus grande profondeur d'eau, du moins à en juger par ce que nous en ont appris les papiers publics; car leur journal ni leur mémoire n'ont pas été imprimés, & ne ſont pas parvenus juſqu'à nous. Il eſt certain que l'exécution de leur projet ſeroit une amélioration réelle dans la navigation de la Seine; qu'on pourroit alors, de Paris, faire un commerce de cabotage avec la côte, & même avec des iſles à une certaine diſtance du continent, & qu'on ne ſeroit plus dans le cas, pour une infinité d'objets, de faire des verſemens à Rouen. Ainſi, on ne peut qu'applaudir à leur zèle pour la proſpérité publique. Mais au fond, peut-on croire qu'un négociant à Paris, à qui la fortune permettra de faire des ſpéculations importantes ſur les productions des Indes, ſoit orientales, ſoit occidentales, confiera des chargemens précieux & de la plus grande valeur, à un navire auſſi frêle qu'un lougre? On ſent bien que la prudence s'y oppoſe. Par conſéquent un pareil ſyſtême de navigation ne ſatisfait qu'à demi à celui qu'on doit avoir en vue.

Inconvéniens du projet de redreſſer le lit de la Seine.

542. Nous ne voyons pas la véritable raiſon pour laquelle on a propoſé d'anéantir les ſinuoſités, & de redreſſer le lit de la rivière par-tout où les localités le permettent. Eſt-ce pour abréger la route de Paris à Rouen, ou pour opérer la navigation à la voile ?

Dans la première hypothèſe, il eſt certain que le trajet étant plus direct, ſeroit en même tems plus court. Il eſt certain auſſi que, non-ſeulement à raiſon de ce raccourciſſement, mais encore à raiſon de l'augmentation de vîteſſe qu'on procureroit par ce moyen à la rivière (181 & 182), on arriveroit de Paris à Rouen, en beaucoup moins de tems que par le cours actuel. Mais c'eſt bien moins le tems d'arriver de Paris à Rouen qu'il faut abréger, que celui d'arriver de Rouen à Paris. Or, dans ce cas, on ne gagneroit abſolument rien. Suppoſons, pour le prouver, que ces redreſſemens rendent le trajet quatre fois moindre. La rivière aura donc quatre fois plus de pente que dans ſon cours actuel. Elle acquerrera donc plus de vîteſſe à proportion; elle oppoſera donc auſſi plus de réſiſtance dans la remonte. Mais la réſiſtance eſt comme le quarré de la vîteſſe, & le quarré de la vîteſſe le long des plans inclinés eſt comme la pente. Donc la réſiſtance ſera comme la pente; & puiſque cette pente eſt devenue quatre fois plus forte, la réſiſtance ſuit la même proportion. Par conſéquent, il faudra quatre fois plus de force pour la remonte ou quatre fois plus de tems. Donc, dans ce cas, les redreſſemens ne font rien gagner ſur le tems de la remonte.

Dans la ſeconde hypothèſe, en augmentant la pente, on augmente la vîteſſe. Or, par la même raiſon, on diminue la profondeur des eaux, au lieu qu'il faudroit l'augmenter.

Mais il y a plus. Par les redreſſemens propoſés, la force de la rivière augmentant à raiſon de la pente, ſi le fond eſt corroſible, le courant le creuſera juſqu'à ce que le lit ait pris la forme aſſymptotique (179) qui lui convient. Or, pour

que le lit prenne cette nouvelle forme, la corroſion doit s'étendre à pluſieurs lieues en amont du commencement des redreſſemens. Puis donc que ces redreſſemens doivent commencer en ſortant de Paris, ſuppoſons qu'en cet endroit la corroſion y ſoit de 20 pieds de profondeur, ce qui eſt plus que poſſible. Le nouveau fond ne devant coïncider avec l'ancien, qu'à une très-grande diſtance en amont, cette corroſion ſe propagera à cette même diſtance, en diminuant progreſſivement. Or, alors, il eſt viſible que tous les ponts, les quais & les édifices qui ſeront placés ſur la rivière, ſoit dans Paris, ſoit ſur la grande partie de cet intervalle, ſeront ruinés par le courant, & qu'il en ſera de même des ouvrages d'art placés ſur les affluens.

Pour mieux s'en convaincre, ſoient ABCDEFGH (fig. 46), le cours actuel de la rivière en aval de Paris, la droite GM égale à la longueur du développement du lit, depuis G juſqu'en A, & GKL la ligne aſſymptotique qui repréſente la pente du fond ſur cette partie. Si nous rectifions le lit de A en G, le fond qui, auparavant, étoit ſupérieur à la ligne de niveau GM, d'une quantité = LM, ne s'élèvera plus au-deſſus de cette ligne qu'à la hauteur de AK. Menons KN parallèle à AM, la corroſion en A ſera à-peu-près = LN : or, cette corroſion s'étendra en amont juſqu'à une très-grande diſtance. Fig. 46

Au reſte, nous diſons que la corroſion en A ſera *à-peu-près* = LM; car (181) la groſſièreté des matières du fond y augmentera; ce qui (176) produira une augmentation de pente au point A; mais cette modification n'empêchera pas que LN ne ſoit toujours très-conſidérable.

Il n'y auroit qu'un ſeul moyen d'obvier à cet inconvénient. Ce ſeroit (216) de conſtruire un radier à la tête des redreſſemens. Mais alors (213. 2°. & 3°.), il y auroit une caſcade, & le radier deviendroit un déverſoir qui exigeroit des écluſes pour le rétabliſſement de la navigation.

Ainſi, il paroît que ce projet n'a pas été aſſez mûri.

Danger réſultant des petits canaux de redreſſement projettés.

543. Un projet beaucoup plus raiſonnable, & propoſé dans la concluſion générale du rapport fait au comité des travaux publics de la Convention nationale, par les citoyens Boſſut & David le Roi, chargés d'examiner les canaux projettés de navigation, entre l'Oiſe & la Seine, ſeroit de ne pratiquer à ces redreſſemens qu'un ſimple canal deſtiné au hallage. Cependant nous ne devons pas nous diſſimuler qu'il ſeroit auſſi ſuſceptible de quelques inconvéniens; car, ſi l'on ne prenoit pas les plus grandes précautions à l'entrée des redreſſemens, il pourroit fort bien arriver, ce qui eût lieu en 1711, au canal des Lônes ſur le Rhône, au-deſſous d'Arles (182), c'eſt-à-dire, que, dans une crue, la rivière ne s'y précipitât à raiſon de l'augmentation de pente qu'elle y trouveroit (105. 2°.). La choſe pourroit même avoir lieu malgré toutes les précautions qu'on pourroit prendre. Il ne faudroit pour cela qu'une crue extraordinaire qui permît à la rivière de franchir les ouvrages & d'entrer dans les canaux de redreſſement. Or, alors, il en réſulteroit infailliblement les déſaſtres dont nous venons de parler (542). Ainſi, avant de ſe livrer à ces redreſſemens par des canaux partiels, il ſera peut-être prudent de faire de nouvelles réflexions ſur les dangers auxquels on expoſe la Cité & ſur les moyens de les prévenir.

Canal projetté par le citoyen Lemoine.

544. Le projet de canal du citoyen Lemoine, tendant à faire communiquer la Seine avec l'Océan pris à Dieppe, a été très-ſagement diſcuté dans le rapport que nous avons cité (543), par les citoyens Boſſut & David le Roi, rapport qui juſtifie que ce projet eſt de la claſſe de ceux dont nous avons parlé (505. 2°. & 3°.). N'ayant donc pas pour objet la navigation de la Seine, nous n'en dirons rien de plus.

Venons à préſent aux moyens que nous avons à propoſer pour remplir l'objet de la navigation de la Seine.

545.

545. Cette rivière a une pente convenable pour la navigation à la voile. Mais elle n'a pas assez de profondeur d'eau en divers endroits, pour recevoir & amener jusqu'à Paris les vaisseaux qui s'arrêtent à Rouen (535). Tous les autres obstacles mentionnés aux n. 536 & 538, sont susceptibles d'être levés ou modifiés : il n'est question que de procurer par-tout à la rivière, la profondeur d'eau requise. C'est à ce seul point que tient la navigation dont il s'agit : or la question se réduit à celle-ci : *Forcer la rivière, par les moyens les plus simples & les plus économiques, à creuser son lit, & à prendre la profondeur d'eau nécessaire, pour que, dans le tems même des plus basses eaux, les vaisseaux qui arrivent à Rouen, puissent remonter à la voile jusqu'à Paris.* Nous allons voir que cette question se trouve résolue par les principes que nous avons établis dans le cours de cet ouvrage, & particulièrement, par ce que nous avons dit dans la section Ire. de cette partie, n. 439 & 464. Car telle est la fécondité des principes établis sur les véritables loix de la nature, qu'ils s'appliquent avec succès à la solution de tout ce qui y est relatif.

Problême à la solution duquel se réduit la navigation de la Seine à la voile.

546. Nous avons vu, au n. 456, que lorsqu'une rivière avoit trop de largeur, il en falloit réduire le lit, & (416) que cette réduction devoit s'opérer, non par des ouvrages continus, mais seulement par des rétrécissemens partiels, à exécuter par intervalles. Or, la Seine n'a peu de profondeur, que parce qu'elle a trop de largeur (449). Donc son lit doit être réduit, & cette réduction ne doit s'opérer que par des rétrécissemens placés par intervalles.

On doit réduire le lit de la rivière.

547. Nous avons dit (457) que la largeur à donner à un rétrécissement étoit en raison inverse de la profondeur d'eau qu'on vouloit se procurer. Soient donc la largeur actuelle du lit de la rivière $= l$, la largeur cherchée d'un rétrécissement $= x$, la profondeur d'eau à se procurer, dans le tems des basses

Largeur à donner aux rétrécissemens.

eaux, au rétréciſſement $=a$. Puiſqu'à cette époque, dans l'état actuel, la profondeur de la rivière eſt d'environ 4 pieds & demi, nous aurons la proportion $a:\frac{9}{2}::l:x=\frac{9l}{2a}$.

Ainſi, ſuppoſons qu'à l'endroit à rétrécir, la largeur de la rivière ſoit de 80 toiſes, & qu'on veuille s'y procurer 12 pieds de profondeur d'eau, lors des baſſes eaux, on aura $l=80$, $a=12$ & $x=30$ toiſes.

Si à l'endroit dont il s'agit la rivière n'avoit que 60 toiſes, on auroit $x=22$ toiſes 3 pieds. Or, de Paris à Rouen, la largeur de la rivière, réunie en un ſeul lit, excède toujours 60 toiſes, & quelquefois même 80. Par conſéquent, on peut ſe procurer 12 pieds de profondeur d'eau, & avoir un rétréciſſement au-delà de 22 toiſes & demie de largeur; ce qui eſt plus que ſuffiſant pour la navigation à la voile.

Diſtance des rétréciſſemens.

548. L'intervalle d'un rétréciſſement à l'autre eſt très-aiſé à déterminer par la voie de l'expérience. On conſtruira le premier rétréciſſement en aval, d'après les dimenſions calculées, ainſi qu'on vient de voir (547); il forcera néceſſairement la rivière à corroder & à approfondir le fond (209 & 212), & (211) la corroſion s'étendra plus loin en amont qu'en aval. Lorſqu'il aura produit ſon effet, il ſera aiſé de juger à quelle diſtance en amont du premier rétréciſſement, il faudra établir le ſecond, pour propager la corroſion & la profondeur d'eau demandée.

Ce procédé a d'ailleurs un autre avantage : c'eſt que d'après l'effet produit par le premier rétréciſſement, on jugera, à coup ſûr, de la poſſibilité du projet, & des dépenſes qu'il néceſſitera, tandis que, dans beaucoup de projets, on ne peut pas ſe procurer la même certitude. Par où l'on voit que, pour conſtater cette poſſibilité, tout ſe réduit à faire les avances des frais

d'un ſeul rétréciſſement, frais qui ne s'élèveront pas à 40,000 livres.

Au ſurplus, en comparant la pente de la Seine avec celle du Verdon à Caſtellanne, & en rapprochant la corroſion à produire ſur la première de ces rivières, avec celle produite ſur la ſeconde (212), nous pouvons aſſurer que les rétréciſſemens y ſeront fort éloignés, & que leur diſtance reſpective pourroit bien excéder 2000 toiſes. Conſéquemment, le nombre des rétréciſſemens diminuant, les frais d'exécution diminueroient auſſi à proportion.

Les ouvrages ne doivent pas gêner le paſſage des eaux.

549. Les ouvrages des rétréciſſemens ſeront dans le cas d'être franchis par les eaux dans les crues; car il faut qu'elles aient la liberté de paſſer. C'eſt pour cette raiſon que ces ouvrages ne ſeront qu'en bois, & terminés en glacis (459 & 460).

Ils ſeront auſſi analogues au hallage.

550. Il y aura des cas où, par les vents contraires, on pourra avoir beſoin de ſe faire haller: par conſéquent les ouvrages auront la forme preſcrite au n. 461.

Précautions à prendre dans les barrages.

551. Par-tout où la rivière ſe partagera en pluſieurs branches, on la réduira en une ſeule, ainſi qu'il a été dit (454); & dans le cas où cette opération pourroit préjudicier aux communes riveraines des branches barrées, on ſe conformera à ce que nous avons dit au n. 455.

Précautions à prendre pour ne pas nuire aux édifices ſur la rivière.

552. Dans l'exécution de ce projet, il ſera à propos de mettre les ponts & les autres édifices qui ſont ſur la rivière, à l'abri des effets de la corroſion qu'on veut produire: pour cela on effectuera ce qui a été dit au n. 462.

Moyen d'éviter les ponts en naviguant à la voile.

553. Comme les navires mâtés ne pourroient pas paſſer ſous les arches des ponts, on aura recours au moyen porté par le n. 463.

Précautions à prendre pour Paris & ſes environs.

554. Paris & ſes alentours exigent des précautions particulières, ſoit pour aſſurer les ouvrages d'art qui exiſtent ſur la

rivière, ſoit pour l'établiſſement d'un port qui ſoit à l'abri des dépôts, & qui n'ait pas l'inconvénient des gares.

Le pont de la Révolution paroît devoir être le terme de la navigation ſur la rivière : car il ne ſeroit guères poſſible d'introduire les navires dans la partie ſupérieure, ſoit par la difficulté de conſtruire des canaux latéraux au droit des ponts, ſoit ſur-tout par les dépenſes énormes que néceſſiteroient tous les édifices placés dans Paris ſur le lit de la Seine, pour en préſerver les fondemens, de la corroſion. En conſéquence, à l'iſſue du pont de la Révolution, il devroit y avoir un radier qui mît à couvert de l'action des eaux, tous les ouvrages d'art en amont (215).

Quant au port, il paroît que ſon emplacement naturel ſeroit un canal d'environ 25 toiſes de largeur, qui, partant de l'Arſenal, ou même de plus haut, paſſât par les marais des faubourgs Saint-Martin, Saint-Denis, &c., & vînt rejoindre la rivière aux environs de la barrière de la Conférence, à l'extrêmité des Champs-Éliſées. Ce canal, habituellement alimenté par la rivière, ne ſeroit aucunement ſujet aux encombremens, & offriroit, à portée de tous les quartiers de Paris, un port très-ſpacieux & beaucoup plus commode que s'il étoit placé dans le lit actuel en aval du pont de la Révolution.

On n'auroit pas à craindre que, dans les baſſes eaux, la rivière fût à ſec dans Paris ; car la ſuperficie des eaux y ſeroit toujours à la même hauteur (457). Elles y auroient ſeulement moins de vîteſſe, parce qu'elles y ſeroient moins volumineuſes.

Cas où le fond ſeroit incorroſible.

555. Dans le cas où le fond de la rivière ſeroit de nature à ne pouvoir pas être entamé par la corroſion, on aura recours au moyen indiqué au n. 545.

Voyons à préſent ſi le procédé que nous venons de preſcrire

ſatisfait à toutes les conditions de la queſtion propoſée au n. 545.

556 1°. *On forcera la rivière à creuſer ſon lit :* la choſe eſt évidente : car, en reſſerrant le courant, on augmente ſa force (210-212, 219 & 220). Le procédé preſcrit réſout le problème ſur la navigation de la Seine.

2°. *Elle creuſera ſon lit tout le long de ſon cours dans la partie où on le rétrécira.* Cela eſt encore évident, d'après ce que nous avons dit ci-devant (219 & 220).

3°. *Elle prendra la profondeur d'eau néceſſaire aux vaiſſeaux qui arrivent à Rouen.* Car (457 & 547) cette profondeur eſt relative à la largeur à donner aux rétréciſſemens comparée à celle du lit actuel.

4°. *Ces vaiſſeaux pourront alors remonter à la voile juſqu'à Paris.* Car ils auront la profondeur d'eau néceſſaire (547). La pente de la rivière eſt relative à la navigation à la voile (535). La largeur du lit aux rétréciſſemens ſera au-delà de 22 toiſes & demie (547), c'eſt-à-dire plus forte que celle des goulets d'entrée de pluſieurs ports.

5°. *Les moyens à employer ſeront les plus ſimples & les plus économiques poſſibles.* Car (459 & 460) les ouvrages ne ſeront qu'en bois, terminés en glacis, & conſtruits par intervalles fort éloignés (548).

Ainſi, cette conſtruction remplit toutes les conditions de la queſtion du n. 545.

557. Pour ne rien laiſſer à deſirer & raſſurer tous les eſprits ſur tous les accidens qu'on pourroit craindre, nous récapitulerons ici toutes les raiſons qui peuvent lever les doutes que ce ſyſtême de navigation pourroit faire naître. Obſervations qui lèvent toutes les difficultés.

1°. *On n'a rien à craindre de la part du gonflement des eaux aux rétréciſſemens.* Nous l'avons démontré au n. 457.

2°. *La corroſion aura lieu nonobſtant les ſinuoſités du lit de la rivière.* On en peut voir les preuves au n. 425.

3°. *Les crues des eaux auront conſtamment un paſſage libre.* C'eſt une conſéquence de ce que nous avons dit au n. 459.

4°. *Les éperons ou digues de rétréciſſement ne formeront pas des écueils dans le tems des hautes eaux.* Nous en avons encore donné le moyen au n. 459.

5°. *Les ouvrages ne ſeront point dégradés, quoique franchis par les hautes eaux.* On en a vu la raiſon au n. 460.

6°. *Les ponts & autres ouvrages d'art ſur la rivière, ne ſeront pas dégradés par la corroſion.* Nous en avons donné les moyens au n. 462.

7°. *Le hallage au beſoin ne ſouffrira pas.* La forme des ouvrages preſcrits au n. 461 le garantit.

8°. *Le barrage des branches ne nuira pas aux communes riveraines.* On le voit par les n. 455 & 551.

9°. *Le lit, quoiqu'incorroſible en certains endroits, pourra être rendu corroſible.* Cela eſt prouvé par les n. 422 & 555.

10°. *Les ponts ne ſeront pas un obſtacle au paſſage des navires.* Nous en avons vu la raiſon aux n. 463 & 553.

11°. *Les édifices de Paris n'auront rien à craindre de la corroſion.* Nous en avons donné le moyen au n. 554.

12°. Enfin, *la Seine, dans Paris, aura toujours la même profondeur d'eau.* Nous l'avons vu au même n. 554.

On aura ſouvent plus de profondeur d'eau que n'en exigent les vaiſſeaux marchands.

558. Le tems des baſſes eaux de la rivière eſt fort circonſcrit, & ſe réduit communément à deux ou trois mois dans le courant de l'année. C'eſt à cette époque que la profondeur d'eau, dans l'état actuel, eſt ſeulement de 4 pieds 6 pouces;

mais ce tems-là passé, la profondeur ordinaire est de 6 & 7 pieds. Par conséquent, si les rétréciſſemens sont tels, qu'à l'époque des plus basses eaux on se procure 12 pieds de profondeur d'eau, il est aisé de sentir, que, dans le tems des eaux moyennes, on en aura jusqu'à 14 & 15 pieds. Conséquemment, dans certains cas, on pourroit, au besoin, faire venir des frégates à Paris, ou du moins les y construire, ainsi que des vaisseaux de ligne, qu'on armeroit ensuite ailleurs.

Ce projet est de nature à intéresser l'Etat.

559. Si l'on regarde ce projet de navigation comme n'intéressant que Paris, considérée d'une manière isolée, il tomberoit dans la classe de ceux mentionnés au n. 506. 2°. & 3°.; & pour lors l'exécution en seroit subordonnée à de simples calculs de finance. Mais Paris étant le siège du gouvernement, la chose peut être envisagée sous d'autres rapports relatifs à la politique. Au surplus, notre objet étoit d'en prouver la possibilité morale & physique : nous croyons l'avoir rempli par l'exposé que nous venons de faire. Nous laissons à qui de droit l'examen des raisons d'état qui peuvent s'y rapporter.

On pourroit pousser la navigation à la voile au-delà de Paris.

560. Les moyens que nous venons de prescrire pour opérer la navigation à la voile sur la Seine jusqu'à Paris, pourroient être facilement employés ultérieurement, tant sur la même rivière, que sur ses affluens supérieurs & inférieurs : du moins on pourroit y ménager une navigation pour des tartanes & des allèges; mais ce projet est subordonné aux considérations relatives au n. 506. 2°. & 3°. Ainsi nous n'en dirons rien de plus.

561. Au surplus, nous devons prévenir nos lecteurs que nous n'avons d'autre objet que de donner nos idées, sur un projet dont chacun sent les avantages. Nous les soumettons, ces idées, à la censure des personnes plus instruites que nous, soit sur l'art, soit sur les localités. Il est possible qu'un examen plus approfondi du cours de la rivière, présente des difficultés

que nous n'avons pas prévues ; mais il eſt poſſible auſſi que ces difficultés ſoient levées, ſoit par les principes que nous avons établis, ſoit par des moyens que les circonſtances ou les lieux feront découvrir.

FIN.

TABLE
DES MATIÈRES
Contenues dans ce Volume.

DIVISION de l'ouvrage. n°. 1

PREMIERE PARTIE.
De la théorie des Torrens & des Rivières.

DIVISION de la première partie. n°. 2

SECTION I.
Notions préliminaires.

§. I.
Observations ſur les Montagnes.

L'ÉTUDE des rivières exige la connoiſſance de la configuration des parties du globe. n°. 3
Abaiſſement du niveau des eaux de la mer d'environ 230 toiſes. 4 & 6
Diſcuſſion ſur l'origine des montagnes. 7 & 10
Accroiſſemens de la ſurface des continens. 11
Degré de pente de ces accroiſſemens. 12
Dégradations des montagnes par les fondrières. 13
Cauſe des fondrières. 14
Quelles ſont les limites des fondrières. 15 & 16
Toutes les montagnes ſont en pente douce du côté du Nord. 17
Les ouvrages publics doivent être conſtruits ſur les faces qui regardent le Nord. 18
Utilité de ces obſervations pour la tactique. 19
Et pour faire connoître les projets aux Adminiſtrations. 20
Exception à la règle ſur les limites des fondrières. 21

§. II.
De l'origine des Sources & des Rivières.

L'air & la chaleur ſont les principaux agens de la formation des ſources. 23
L'air eſt eſſentiellement néceſſaire à la vie. 24

L'air enveloppe tout le globe. 25
L'air eſt compreſſible & élaſtique. 26
Poids d'une colonne d'air. 27
Donc l'air eſt un fluide peſant. 28
Poids d'un pied cube d'air à la ſurface de la terre. 29
La denſité de l'air décroît en s'élevant au-deſſus de la ſurface du globe. 30
Conſéquence qui en réſulte pour l'aſcenſion des corps légers. 31
La chaleur convertit l'eau en vapeurs. 32
L'eau s'évapore ſans mêlange de parties hétérogènes. 33
L'action du ſoleil convertit l'eau en vapeurs. 34
Volume de l'eau convertie en vapeurs. 35
L'eau convertie en vapeurs s'élève dans l'atmoſphère. 36
La moindre chaleur ſuffit pour l'évaporation de l'eau. 37
L'action du vent produit auſſi l'évaporation de l'eau. 38
L'évaporation des eaux ſur la ſurface du globe forme les nuages & les pluies. 39
Quelle eſt la quantité d'eau pluviale qui tombe dans une année. 40
Quelle eſt l'évaporation annuelle. 41 & 42
L'évaporation annuelle ſuffit amplement pour fournir aux pluies. 43
Diviſion des eaux pluviales en diverſes claſſes. 44
Comment les eaux pluviales forment les ſources. 45
Preuve qui conſtate que les ſources proviennent des eaux pluviales. 46
Comment ſe forment les grandes ſources telles que celle de Vaucluſe. 48
Les ſources des pays de plaines ſe perdent ſouvent au-deſſous du niveau des eaux de la mer. 49
Concluſion de la diſcuſſion ſur l'origine des ſources. 51

§. III.

Obſervations générales ſur les Torrens & les Rivières.

Les maſſes de montagnes ſont ſillonnées de vallées de divers ordres. 53
Ces vallées ont été formées par les eaux pluviales. 54
Plus un pays eſt montueux, plus on y trouve de ſources. 55
La réunion des eaux des ſources forme les fleuves & les rivières. 56
Le volume d'eau des rivières augmente par les pluies, & diminue par la ſéchereſſe. 57
Rapport des volumes d'eau de deux rivières. 58
Utilité de ce rapport dans le génie civil & militaire. 59
Le volume d'eau des rivières augmente ou diminue en s'éloignant, ou en s'approchant de leur ſource. 60
Les troubles des rivières indiquent une augmentation dans le volume de leurs eaux. 61
D'où proviennent les troubles des rivières. 62
Loi des crues des rivières par une pluie générale. 63
Conditions pour le *maximum* des crues. 64 & 67
Les crues ſeront plus fortes dans les pays de montagnes. 68
Elles ſeront moins fortes dans les pays de plaines. 69
Elles ſeront d'autant plus fortes que les montagnes ſeront moins boiſées & plus déchargées. 70
Dans ce cas les crues ſeront plus courtes. 71
Dans quel cas la crue n'eſt que partielle. 72
Conditions pour le *maximum* d'une crue partielle. 73
Les crues d'orage ſont plus fortes que les crues de pluies ordinaires. 74
Le volume & la durée de la crue augmenteront en s'éloignant de la ſource. 75
Au contraire, ils diminueront en s'en approchant. 76
La couleur des troubles fait connoître le pays d'où ils viennent. 77
L'écoulement des eaux ſuperficielles ne ceſſe pas avec la pluie. 79
Conſéquence qui en réſulte. 80
A quelle époque les troubles diminuent. 81
Loi des écoulemens ſecondaires. 82
A quelle époque s'établit l'équilibre entre le fond & l'action des eaux. 83
Différence entre les torrens & les rivières. 84
Conditions pour les torrens & pour les rivières. 85
Il y a un intervalle où le courant ſera un torrent-rivière. 86
Définition du torrent, de la rivière, & du torrent-rivière. 87
Définition du volume des eaux dans les

divers états des rivières. 89
Définition du lit majeur & du lit mineur. 90
Loi fondamentale sur l'écoulement des eaux. 91
Cas où le fond & les côtés du canal sont raboteux. 92
Cas où la forme du canal s'altérera par l'action des eaux. 93
Application au cours des rivières suivant la théorie. 94
Conséquences qui en résulteroient. 95 & 96
Cette application est inadmissible dans la pratique. 97
Impossibilité de découvrir la loi exacte du mouvement des eaux des torrens & des rivières. 99
Sur cela il faut se borner à une approximation. 100
Moyen de trouver cette approximation. 101
Comment on doit prendre la section d'une rivière. 102
En quel endroit la vitesse d'une rivière arrivera à l'uniformité. 103
Principe fondamental sur la force des courans, & sur la résistance qui la contrarie. 104
Autres principes fondamentaux. 105

SECTION II.

Des Torrens.

§. I.

Des Torrens considérés sur les montagnes où ils se forment.

Conditions qu'exige la formation d'un torrent. 107
Conséquence qui en résulte. 108
En quel endroit le torrent commencera à se former. 109
Le fond du torrent s'approchera toujours plus de la verticale. 110
Les bords du torrent se talusseront insensiblement. 111
Les talus du torrent seront sillonnés par des torrens secondaires. 112
L'origine du torrent s'approchera continuellement du sommet de la montagne. 113
Le torrent peut diviser une montagne en plusieurs partis. 114
Origine des montagnes partielles. 115
Conjectures sur l'origine des détroits de Constantinople, des Dardanelles & de Gibraltar. 116
Les lacs traversés par des rivières s'anéantiront tôt ou tard. 117
Particularités des torrens qui descendent des montagnes où il ne reste plus de terre. 118 & 120
La nature des transports des torrens dépend de celle des terreins des montagnes. 121
Le lit d'un torrent sur le penchant d'une montagne est toujours sinueux. 122
Ces sinuosités détruisent la force des torrens. 123

§. II.

Des Torrens considérés au pied d'une montagne.

Deux cas à examiner. 124

Premier cas.

Il y aura un intervalle entre le bas de la chûte du torrent & la rivière qui le reçoit. 125
Pente de cet intervalle. 126
La pente d'un torrent diminue au pied de la montagne. 127
Cette pente sera proportionnelle à la grossièreté des matériaux du fond. 128

Loi ſur la longueur du cours de ce lit. 129
Conſéquence qui en réſulte. 130
Le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue, & s'exhauſſera à la fin. 131

Deuxième cas.

Quelle ſera la pente du lit au bas de la montagne. 132
Conſéquences qui en réſultent. 133
Cas où le torrent ſe répandra ſur les domaines adjacens. 134
Les dépôts peuvent être utiliſés par le génie civil & par l'agriculture. 135
Comment on détermine la pente à donner au lit d'un torrent ſur une chauſſée. 136 & 137
La chauſſée du lit augmentera ou diminuera de hauteur proportionnellement à ſa longueur. 138
Donc on doit conduire les torrens aux rivières par la voie la plus courte. 139
Si le lit eſt trop large, le fond s'élévera. 140
Donc plus le lit ſera étroit, plus la pente ſera petite. 141
Et moins la chauſſée ſera élevée. 142
Importance des principes précédens pour les pays de montagnes. 143

§. III.

Des cauſes des Torrens & des effets qui en réſultent.

La première cauſe de la formation des torrens eſt la deſtruction des bois des montagnes. 144
La deuxième cauſe eſt le défrichement des montagnes. 145
Le premier déſaſtre qui en réſulte eſt la ruine de nos forêts. 146
Le deuxième déſaſtre eſt la perte des pâturages ſur pluſieurs montagnes. 147
Le troiſième déſaſtre eſt la ruine des domaines le long des rivières & de ceux au bas des montagnes. 148
Le quatrième déſaſtre eſt le préjudice qu'éprouve la navigation des rivières. 149
Le cinquième déſaſtre conſiſte dans les procès réſultans de la diviſion des rivières en pluſieurs branches. 150
Le ſixième déſaſtre eſt l'obſtruction de l'embouchure des fleuves. 151
Le ſeptième déſaſtre eſt la diminution des ſources. 152

SECTION III.

Des Rivières.

Division de cette ſection. 153

CHAPITRE I.

Des Rivières à fond de gravier.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des Rivières à fond de gravier.

Le fond des vallées où les rivières ont établi leur lit, a été encombré par des pierres. 154
Les domaines riverains, de niveau avec le lit, ont été gagnés ſur ce lit. 155
En creuſant dans ces domaines, on trou-

vera le gravier. 156
Les encombremens qui forment le gravier tirent leur origine des montagnes adjacentes. 157
La quantité de gravier que la rivière reçoit, eſt proportionnelle à l'étendue & à la déclivité du pays qui le fournit. 158
La groſſièreté du gravier eſt proportionnelle à la déclivité & à la proximité des montagnes. 159
Donc le gravier ſera plus ou moins groſſier, ſuivant la hauteur & la pente des montagnes. 160
Donc, s'il n'y a point de montagnes, il n'y aura point de gravier. *ibid.*
La groſſièreté du gravier augmente ou diminue en s'approchant ou en s'éloignant de la ſource de la rivière. 161
Si les montagnes riveraines s'abaiſſent ou s'éloignent, la largeur du gravier augmentera. 162
Si les montagnes riveraines s'approchent ou s'élèvent, la largeur du gravier diminuera. 163
La largeur des terreins à gagner, eſt relative à la diſtance de la ſource. 164
Conſidérations ſur le gravier & les galets, & l'uſage qu'on en peut faire pour diſtinguer la rivière du torrent-rivière. 165
Origine des dépôts de gravier ſupérieurs au lit des rivières. 166
Pourquoi le lit des rivières s'abaiſſe, malgré les graviers affluens. 167
La force d'équilibre des courans eſt exprimée par le volume d'équilibre multiplié par la vîteſſe moyenne. 169
Cette force eſt auſſi repréſentée par le même volume multiplié par une fonction quelconque de la pente. 170
La réſiſtance des matières du fond eſt proportionnelle à leur groſſièreté. 171
Les matières du fond doivent ſe mettre en équilibre avec l'action des eaux. 172
Conſéquence qui en réſulte. 173
La groſſièreté des matières du fond augmente avec la force de la rivière. 174
Et réciproquement. 175
Le volume d'eau étant conſtant, la pente augmentera ou diminuera avec la groſſièreté des matières du fond. 176
La groſſièreté des matières du fond étant conſtante, la pente ſuivra la raiſon inverſe du volume d'eau. 177
Le fond du lit formera une courbe qui s'élèvera en avançant vers la ſource. 178
La courbe du lit ſera aſſymptotique. 179
Le volume d'eau étant conſtant, la groſſièreté des matières du fond augmentera avec la pente. 180
Application de ce principe au redreſſement du lit des rivières. 181
Moyen de ſimplifier les frais de redreſſement du lit des rivières. 182
Le volume d'eau étant conſtant, la groſſièreté des matières du fond diminuera avec la pente. 183
Application de ce principe aux déverſoirs. 184
Un déverſoir oblige le lit à s'exhauſſer en amont. 185
La groſſièreté des matières du fond ſera à ſon *minimum* près du déverſoir. 186
Chaque déverſoir produit au fond du lit une courbe aſſymptotique. 187
Combien l'uſage des déverſoirs eſt pernicieux. 188
Effets réſultans de la démolition d'un déverſoir. 189
La groſſièreté des matières du fond étant conſtante, la pente diminuera lorſque le volume d'eau augmentera. 190
Donc en aval d'un confluent la pente de la rivière principale diminuera. 191
Les rétréciſſemens du lit en diminuent la pente. 192
Si la groſſièreté des matières du fond eſt conſtante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera. 193
Conſéquences qui en réſultent. 194

§. II.

De l'action des eaux ſur le fond en gravier; de la corroſion qui s'y exerce, & des moyens de la provoquer & de la modifier.

Les eaux ſuperficielles éprouvent une accélération. 195
L'équilibre exige des gouffres. 196
Preuve tirée de l'expérience. 197
La profondeur des gouffres dépend de celle du courant & du degré de pente. 198
La diſtance des gouffres ſuit la raiſon inverſe de la pente. 199
Variations de la groſſièreté des matières d'un gouffre à l'autre. 200

Variations de la vîteſſe des rivières d'un gouffre à l'autre. 201
En quels endroits les rivières ſont guéables. 202
Inſtrumens pour meſurer la vîteſſe des eaux. 203
Deſcription & uſage de la machine de Pitot. 204
Comment on doit prendre la pente d'une rivière. 205
La courbe aſſymptotique du fond ſera dentelée par les gouffres. 206
Les gouffres diſparoîtront pendant les crues. 207
Quelles ſont les pierres qui ne ſeront pas entraînées par le courant. 208
Un rétréciſſement devroit abaiſſer le lit juſqu'à la ſource. 209
Raiſons pour leſquelles l'abaiſſement n'aura lieu que juſqu'à une certaine diſtance en amont. 210
La corroſion du fond occaſionnée par un rétréciſſement, s'étendra davantage en amont qu'en aval. 211
Preuves tirées de l'expérience. 212
Effets produits par un radier conſtruit à un rétréciſſement. 213
Preuve tirée de l'expérience. 214
Emploi des radiers pour préſerver de la corroſion les ouvrages d'art en amont. 215
Utilité des radiers dans la conſtruction des ponts. 216
Dans les rétréciſſemens, la profondeur de la corroſion eſt en raiſon inverſe de la largeur des rétréciſſemens. 217
La corroſion s'opère ſur-tout pendant les crues. 218
La corroſion du fond ſe propagera par des rétréciſſemens conſécutifs. 219
Donc les rétréciſſemens par intervalles réduiront le lit des rivières. 220
Quels ſont les élémens qui déterminent la largeur des rétréciſſemens. 221

§. III.

Des variations des Rivières à fond de gravier, & de leur action ſur les bords.

Les rivières tendent à ſuivre la ligne droite. 222
Si le lit eſt trop large, le courant ſe portera vers les bords. 223
Les Anciens donnoient toujours trop de largeur aux rivières. 224
Quelle eſt la nature des bords d'une rivière. 225
La corroſion d'une berge ſera en raiſon inverſe de l'angle d'obliquité du courant. 226
La corroſion d'une berge ſera en raiſon directe de la force du courant, & en raiſon inverſe de la tenacité des matières. 227
Conſéquences qui en réſultent. 228
La corroſion des bords formera une ligne courbe. 229.
La concavité de la courbe de corroſion, ſera en raiſon inverſe de la tenacité des matières. 230
Conſéquences de cette propoſition. 231
Le lit d'une rivière ſera corrodé & abaiſſé au pied d'une digue oblique & incorroſible. 232
Donc une berge oblique & incorroſible attirera le courant. 233
Une digue oblique produira le même effet. 234
Raiſons du proverbe des nautonniers : *les roches attirent les eaux.* 235
Les berges obliques & incorroſibles ne réfléchiſſent pas le courant. 236
Effet produit à l'extrémité d'une digue oblique. 237
Dans un lit trop large, une berge parallèle & incorroſible peut auſſi attirer le courant. 238
Première cauſe de la diviſion des rivières. La trop grande largeur du lit. 239
Deuxième cauſe de diviſion. Les arbres, arbriſſeaux, &c. chariés par le courant. 240
Troiſième cauſe de diviſion. Les dépôts qui ſe forment au bout d'une digue oblique. 241
Quatrième cauſe de diviſion. Les grandes crues. 242
Cinquième cauſe de diviſion. Les trop fortes ſinuoſités. 243
Unique moyen de prévenir la diviſion des rivières. 244

CHAPITRE II.

Des Rivières à fond de ſable & de limon.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des Rivières à fond de ſable & de limon.

Dans les rivières à fond de ſable & de limon, les lits majeur & mineur ſe confondent. 246
Diſtinction entre le lit *naturel* & le lit *factice*. 247
Les rivières à fond de ſable ont moins de pente que celle à fond de gravier. 248
Et celles à fond de limon en ont moins que celles à fond de ſable. 249
Uniformité de vîteſſe dans les rivières à fond de ſable & de limon. 250
A l'embouchure le fond ne ſera qu'en limon. 251
Un fond de ſable & de limon eſt moins variable qu'un fond de gravier. 252
Dans les crues la vîteſſe eſt plus forte à l'embouchure qu'en amont. 253

§. II.

De l'action des eaux ſur le fond en ſable & limon.

Dans ces rivières il n'y aura point de gouffre d'équilibre. 254
La groſſièreté des matières du fond étant conſtante, la pente diminuera quand le volume d'eau augmentera. 255
Conſéquences qui en réſultent dans le cas des rétréciſſemens. 256
Par des rétréciſſemens partiels on forcera ces rivières à baiſſer leur lit. 257
La groſſièreté des matières du fond étant conſtante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera. 258
Conſéquences qui en réſultent. 259

§. III.

Des variations des Rivières à fond de ſable, & de limon, & de leur action ſur les bords.

Si le lit s'exhauſſe inégalement par des dépôts, le courant ſe portera à l'endroit le plus bas. 260
Formation des iſles dans le lit de ces rivières. 261
Ces iſles ſont nuiſibles à la navigation. 262
Le courant eſt ordinairement au milieu du lit naturel. 263
Quelquefois il s'en écarte dans un lit factice. 264
Conſidérations ſur la corroſion des berges. 265
Les cauſes de diviſion ſont les mêmes pour ces rivières & pour celles à fond de gravier. 266 & 269

§. IV.

De l'embouchure des Rivières dans la Mer.

A l'embouchure des rivières il ſe forme des barres dans l'Océan, & des iſles dans la Méditerranée. 270
Les iſles dans la Méditerranée prolongent le lit dans la Mer & augmentent le Continent. 271
L'embouchure dans la Méditerranée produit des plages dangereuſes. 272

Lorſque le lit ſe prolonge dans la Mer, le fond en amont doit s'exhauſſer. 273
Dans ce cas, ſi les domaines riverains ne s'exhauſſent pas, ils ſe convertiront en marais. 274
Les marais augmenteront à proportion que la Mer ſe retirera. 275
Moyen d'empêcher que les domaines riverains ne ſe convertiſſent en marais. 276

SECTION IV.

Des Torrens-Rivières.

LE gravier du torrent-rivière eſt plus groſſier que celui de la rivière qui le reçoit. 278
Son volume d'eau eſt moindre que celui de la rivière qui le reçoit. 279
Donc le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit. 280
Réflexions ſur les gouffres d'équilibre des torrens-rivières. *ibid.*
Réflexions ſur l'exhauſſement & l'abaiſſement de leur lit. 281
Si le lit eſt trop large, le torrent-rivière pourra l'abandonner. 282
Différence remarquable entre les rivières & les torrens-rivières. 283

SECTION V.

Des Confluens.

§. I.

Obſervations générales ſur les Confluens.

LA ſolution du problême ſur la direction de la réſultante de deux courans qui ſe réuniſſent, eſt inadmiſſible dans la pratique. 285
Le courant le plus fort s'oppoſera plus ou moins à l'admiſſion du plus foible. 286
Le courant le plus foible ſera ſouvent obligé de s'enfler pour entrer dans le plus fort. 287
Dans ce cas, le courant le plus foible ſe diviſera en pluſieurs branches. 288
La ſection de deux courans réunis eſt moindre que la ſomme de leurs ſections avant la réunion. 289

§. II.

Du confluent de deux Torrens.

Les variations au confluent de deux torrens ſur le penchant d'une montagne ſeront peu conſidérables. 290
Les directions des torrens dans les plaines doivent concourir le plus poſſible. 291

§. III.

Du confluent d'un Torrent & d'une rivière, ou d'un Torrent-Rivière.

Le lit de la rivière ſera rétréci par le torrent. 292
Les dépôts d'un torrent peuvent totalement barrer le lit d'une rivière. 293

Ce

Ce qui arrivera lorſque le lit majeur de la rivière ſera fort large. 294
La pente d'une rivière augmentera à l'iſſue du confluent d'un torrent. 295
Cas où le torrent ſe jettera dans un torrent-rivière. 296

§. IV.

Du Confluent d'une Rivière & d'un Torrent-Rivière.

Si la nature du torrent-rivière approche de celle du torrent, les effets ſont les mêmes qu'au confluent du torrent & de la rivière. 297
Obſervation particulière. *ibid.*

§. V.

Du Confluent de deux Rivières.

La pente diminue en aval du confluent de deux rivières. 298

§. VI.

Du Confluent de deux Torrens-Rivières.

Le confluent de deux torrens-rivières renferme quatre cas. 299
Ces cas ſe rapportent à quelqu'un des précédens. 300

DEUXIÈME PARTIE.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens, des Rivières & des Torrens-Rivières.

SECTION I.

Des moyens d'empêcher la formation & les ravages des Torrens.

§. I.

Des moyens d'empêcher la formation des Torrens ſur les Montagnes.

Empêcher la coupe des bois ſur les montagnes. 301
Mode à ſuivre pour les défrichemens ſur les montagnes. 302
Boiſer les montagnes en ſemant des glands ou des faînes. 303
Ou les gazonner. 304
Manière de détruire un torrent à ſon origine. 305
L'uſage des murs pour cet objet eſt défectueux & trop coûteux. 306
Cas où il eſt impoſſible de détruire un torrent. 307 & 308

§. II.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens au bas des Montagnes.

Trois cas à examiner dans les torrens au bas des montagnes. 309
Le torrent ſe réduit de lui-même dans le cas où ſon lit eſt en pleine terre. 310
Moyen de le réduire dans le cas où ſa pente eſt la même que celle du terrein. 311
Moyen de le réduire dans le cas où il doit être conduit ſur une chauſſée. 312 & 313
On peut employer des paliſſades avec des buiſſons pour contenir le torrent. 314
Emploi des murailles pour le même objet. 315
Uſage des radiers lorſqu'on emploie des murailles. 316

SECTION II.

Des moyens de contenir les Rivières & les Torrens-Rivières.

DIVISION de cette ſection. 317

CHAPITRE I.

Des Digues.

§. I.

Des Digues conſidérées par rapport à leur direction.

QUEL eſt l'objet des digues. 318
Inconvéniens des digues obliques à la direction du courant. 319 & 320
Les digues obliques ſont eſſentielles pour établir des priſes d'eau de canaux. 321
Inſuffiſance & inconvéniens des digues parallèles à la direction du courant. 322
Les digues perpendiculaires à la direction du courant, ſont les ſeules qu'on puiſſe employer pour garantir les bords des rivières. 323
La digue perpendiculaire produira les dépôts en amont. 324
Elle produira auſſi des dépôts en aval. 325
Erreur des Anciens au ſujet de l'angle d'obliquité des digues. 327
Conſéquence qu'on doit en tirer. 328
On doit conſtruire un éperon à la tête de la digue perpendiculaire pour la mettre à couvert. 329
L'éperon empêchera le courant d'atteindre la digue perpendiculaire. 330
Autre manière d'enviſager la choſe. 331
L'éperon occaſionne une maſſe d'eaux ſtagnantes au-devant de la digue. 332
Donc il ſuffira que la digue ne ſoit qu'une ſimple chauſſée en terre ou en gravier. 333
Obſervations eſſentielles ſur la conſtruction de l'éperon. 334
Quelles ſont les parties de l'éperon qu'il faut fortifier. 335
La longueur de l'éperon du côté d'amont eſt en raiſon inverſe de la pente de la rivière. 336
Quelle doit être la longueur de la partie en aval. 337
Expériences relatives à ces dimenſions. 338
Les atterriſſemens produits par les dépôts auront la forme d'un glacis incliné vers le courant. 339

§. II.

Des diverſes eſpèces de digues, leur profil, leurs matériaux, leur conſtruction, & des cas où l'on doit les employer.

Problême relatif au profil des murs d'un baſſin. 340 & 341
Application aux digues ſur les rivières. 342
L'expérience rend inutile la ſolution de ce problême. 343

ARTICLE I.

Des digues en terre ou en gravier qui doivent être terminées par un éperon.

Dimenſions des digues perpendiculaires. 344
Matériaux des digues perpendiculaires. 345
Coupe des digues perpendiculaires. 347
Conſtruction des digues perpendiculaires hors de l'eau. 348
Conſtruction des digues perpendiculaires dans l'eau. 349

ARTICLE II.

Des Digues à péré.

Il y a trois ſortes de pérés. 350
Conditions & qualités générales des digues à péré. 351
Conſtruction des digues à péré en dalles. 352
La baſe ne doit pas être défendue par un pilotage. 353
Deſcription des bermes à ſubſtituer aux pilotages. 354
Détermination des dimenſions des bermes. 355
Dans les digues à péré en dalles, les bermes ſeront auſſi en dalles. 356
Cas où la digue ſeroit deſtinée à ſervir de chauſſée pour un chemin. 358
Cas où la digue ſeroit oblique au courant. 359
Cas où la digue doit être conſtruite hors de l'eau. 360
Cas où la digue doit être conſtruite dans l'eau. 361
Conſtruction d'une digue parallèle le long d'une berge 362
Simplification de cette conſtruction. 363
Conſtruction d'une digue oblique dans l'eau. 364
Cas où l'on emploie les digues à péré de blocaille. 365
Conſtruction de ces digues. *ibid.*
Digues à petit péré; cas où on les emploie; leur conſtruction. 366
Moyen ſimple de transformer les digues à petit péré en digues à péré en dalles. 367

ARTICLE III.

Des Digues à pierres sèches.

Les digues à pierre sèche ſont en dalles ou en blocaille. 368
Conſtruction des digues en dalles uſitées ſur la Durance. 369
Vices de cette conſtruction. 370
Réforme de cette conſtruction. 371
Simplification à y introduire. 372
Deſcription & défauts des digues en blocaille uſitées dans la ci-devant Provence. 373
Réforme de cette conſtruction. 374
Simplification à y introduire. 375

ARTICLE IV.

Des Digues en maçonnerie.

Cherté des digues en maçonnerie. 376
Conſtruction & dimenſions des digues en maçonnerie. 377

ARTICLE V.

Des Digues en gabions.

Deſcription des gabions. 378
Conſtruction des digues en gabions. 379
Avantages & inconvéniens des digues en gabions. 380
Dans quel cas & pour quel objet on doit les employer. 381

ARTICLE VI.

Des Digues par encaiſſement.

Deſcription des encaiſſemens. 382
Leur ſolidité. *ibid.*
Moyen de généraliſer l'uſage des digues par encaiſſement. 383

ARTICLE VII.

Des Digues en bois.

Diverſes ſortes de digues en bois. 384
Digues avec des arbres, uſitées ſur la Durance. 385
Digues en paliſſades avec des arbres aux paremens. 387
Digues en clayonnages. 389
Digues en *chevrettes* ou *chevalets*. 390
Comment on pourroit conſtruire des chevalets factices. 391
Simplification dans la conſtruction des chevalets factices. 392

ARTICLE VIII.

Des Levées ou Turcies.

Cas où l'on emploie les levées. 393
Qualités requiſes dans les levées. 394
Couronnement & talus des levées. 395
Hauteur des levées. 396
Péré des levées. 397
Moyen de forcer les rivières à fortifier les levées. 398
Moyen d'empêcher le percement des levées de la part des taupes, &c. 400

ARTICLE IX.

Réſumé général des Digues précédentes.

Uſage des digues perpendiculaires. 402
Uſage des digues à péré. 403
Uſage des digues à pierre sèche. 405
Uſage des digues en maçonnerie. 406
Uſage des digues en gabions. 407
Uſage des digues par encaiſſement. 408
Uſage des digues avec arbres. 409
Uſage des digues avec paliſſades & arbres. 410
Uſage des digues en clayonnage. 411
Uſage des digues en chevrettes ou chevalets. 412
Uſage des levées ou turcies. 413

CHAPITRE II.

De la réduction des Rivières & des Torrens-Rivières.

§. I.

De la réduction des Rivières à fond de gravier & des Torrens-Rivières.

A quel problême ſe rapporte la réduction du lit des rivières à fond de gravier. 414
Principe fondamental pour la réduction du lit de ces rivières. 415
Manière d'opérer cette réduction. 416
Les digues des angles doivent être briſées. 417
Levées de précaution à conſtruire dans certains cas. 418
Le courant ne deviera pas entre deux rétréciſſemens conſécutifs. 419
Le courant ne ſe diviſera pas entre deux rétréciſſemens conſécutifs. 420
Le courant décrira des courbes aux ſinuoſités. 421
Le courant creuſera ſon lit par-tout où il aura été rétréci. 422
Moyen d'accélérer les atterriſſemens. 423
Cas où il y a des montagnes d'un côté du lit de la rivière. 424
Cette méthode s'applique auſſi aux lits ſinueux. 425
Comment on doit opérer lorſque la rivière ſe partage en branches. 426
Dans ces rivières, les rétréciſſemens doivent commencer en amont. 427
Application de cette méthode aux torrens-rivières. 428
Utilité de cette méthode pour la conſtruction des chemins dans les pays de montagnes. 429

§. II.

De la réduction des Rivières à fond de ſable & de limon.

La réduction des rivières à fond de ſable & de limon doit être renvoyée à la navigation. 430

SECTION III.

Uſage des principes précédens dans la conſtruction des Ponts ſur les Rivières à fond de gravier.

Application des principes précédens à la conſtruction des ponts ſur les rivières à fond de gravier. 432
Simplification du prolongement des murs en aîle en amont. 433
Obſervations ſur la poſition de la ſurface du radier. 434

TROISIÈME PARTIE.

De la Navigation, du Hallage & de la Flottaiſon des Rivières.

Définition de la navigation, du hallage & de la flottaiſon des rivières 435
Conſéquences qui en réſultent pour la navigation. 436
Pour le hallage. 437
Pour la flottaiſon. 438

SECTION I.

De la Navigation des Rivières.

La forme des carênes des navires à voile, dépend de la profondeur des eaux de la rivière. 439
La navigation à la voile ſur les rivières a un terme. 440
Quel eſt ce terme. 441
Toutes les rivières à fond de ſable ou de limon, & qui ont une profondeur d'eau convenable, ſont navigables à la voile. 442
Les rivières à fond de gravier le ſont auſſi, lorſque leur pente n'excède pas 3 pouces & demi ſur 200 toiſes. 443
Moyens de rendre navigable une rivière qui a trop de pente. 444
La navigation à la voile exige une certaine largeur. 445
Elle exige auſſi que les ſinuoſités ne ſoient pas trop dures. 446
Les dépôts aux embouchures nuiſent plus à la navigation ſur la Méditerranée, que ſur l'Océan. 447
Les îles dans le lit des rivières en gênent auſſi la navigation. 448
La trop grande largeur du lit nuit à la navigation. 449
Impoſſibilité de détruire les dépôts à l'embouchure des rivières de la Méditerranée. 450
La navigation à l'embouchure des rivières dans la Méditerranée, exige eſſentiellement un canal. 451
Canal de Marius à l'embouchure du Rhône. 452
Nouveau canal projetté pour la même embouchure. *ibid.*
Impoſſibilité d'anéantir les barres à l'embouchure ſur l'Océan. 453
On doit barrer les branches des rivières navigables. 454
Cas où dans ce barrage il faut laiſſer un canal. 455
On doit réduire les rivières navigables quand leur lit eſt trop large. 456
Détermination de la largeur à donner aux rétréciſſemens. 457
Les rétréciſſemens ne ſeront conſtruits que par intervalles. Manière de les opérer. 458
Différence entre la réduction d'une rivière à fond de ſable ou de limon, & celle d'une rivière à fond de gravier. 459
Les ouvrages des rétréciſſemens doivent être en bois. 460
Forme des ouvrages dans le cas du hallage. 461
Comment on garantira les ouvrages d'art des effets de la corroſion. 462
Comment on franchira les ponts par la navigation à la voile. 463
Avantages qui peuvent en réſulter pour l'État. 464

SECTION II.

Du Hallage des Rivières.

Considérations ſur le commencement du hallage & la forme des navires. 465
Il doit y avoir un chemin de hallage. 466
Cas où il faut deux chemins. 467
Équation générale pour le hallage en montant & en deſcendant. 468
Le courant d'une rivière hallable tient le milieu entre les fluides définis & les fluides indéfinis. 469
Quelle eſt la force & la viteſſe d'un cheval. 470
Formules pour le hallage en montant. 471
Formules pour le hallage en deſcendant. 472
Raiſon pour laquelle les rivières des pays de montagnes ne ſont pas hallables. 473
Dans quel cas on doit renoncer au hallage. 474
Le hallage eſt facile ſur les rivières des pays de plaines. 475
Canaux latéraux à ſubſtituer aux rivières trop rapides. 476
Cas où l'on peut par barrage rendre une rivière hallable. 477
Dans quel cas on peut employer le hallage en deſcendant. 478
Ce qu'il faut faire lorſque la rivière n'a pas aſſez de profondeur d'eau. 479
Conſéquence eſſentielle pour les rivières des pays de plaines. 480

SECTION III.

De la Flottaiſon des Rivières.

Cas où la rivière ne ſera que flottable. 481
Flottaiſon des radeaux. 482
Flottaiſon à pièces perdues. 483
Tout corps, ou ſyſteme de corps flottant, ne doit jamais toucher le fond. 484
Conſéquence qui en reſulte pour la flottaiſon. 485
Un lit trop large nuit au flottage. 486
Il en eſt de même : 1°. de la diviſion des rivières. 487
2°. De la diminution du volume d'eau. 488
3°. Des gros quartiers de pierre. 489
4°. Des chûtes ou cataractes. 490
La flottaiſon exige : 1°. qu'on rétréciſſe le lit des rivières. 491
2°. Qu'on atténue les gros quartiers de pierre. 492
3° Qu'on détruiſe les cataractes. 493
Avantages qui réſulteront de ces opérations pour la flottaiſon. 494
Avantages qui en réſulteront pour l'État. 495
Cas où l'on doit ſubſtituer à la rivière un canal latéral de hallage. 496

SECTION IV.

De la Navigation intérieure de la France.

Principe d'après lequel on doit opérer pour la navigation intérieure. 497
Avantages qu'a la France pour effectuer la navigation intérieure. 498
Les rivières, ſous le rapport des tranſports, ont trois parties remarquables. 499
Des grandes vallées de la France. 503
En quoi conſiſteroit la navigation intérieure priſe dans toute ſon extenſion. 504
Rapports ſous leſquels le bien public exige qu'on enviſage les projets. 505
Dans quel cas le Gouvernement doit ſe char-

ger de l'exécution des projets. 506
La navigation des grandes rivières doit fixer l'attention du Gouvernement. 507
Dans quel cas l'État doit favoriſer le hallage des rivières, comme partie de la navigation intérieure. 508
Quelles ſont les rivières dont la flottaiſon doit être regardée comme faiſant partie de la navigation intérieure. 509
En quoi conſiſte réellement la navigation intérieure. 510
Communication de Marſeille avec Bordeaux & Bayonne. 511
— La vallée du Rhin. 512
— La vallée de la Moſelle. *ibid.*
— La vallée de la Meuſe. *ibid.*
— La Suiſſe & le Mont-Blanc. *ibid.*
— Nantes. 513
— Paris & la vallée de la Seine. 514
— La vallée de la Somme. 515
— La vallée de l'Eſcaut, la Belgique & la Hollande. 516
Communication de Bordeaux avec la vallée de la Loire. 518
— La vallée de la Seine. 519
— La vallée de la Somme. 520
— La vallée de l'Eſcaut. 522
— La vallée de la Meuſe. 523
— La vallée du Haut-Rhin. 524
— La vallée de la Moſelle. 525
— Le lac de Genève. 526
Ces communications rempliſſent l'objet de la navigation intérieure. 527
Ouvrages à exécuter pour la navigation intérieure. 529
Canaux de communication entre deux vallées. 530
Réflexions ſur les canaux ſouterreins. 531
Réflexions ſur le canal ci-devant de Picardie. 532
Précautions à prendre pour effectuer le projet de la navigation intérieure. 533

SECTION V.

De la Navigation à la voile par la Seine juſqu'à Paris.

LA navigation de la Seine à la voile ſouvent propoſée. 534
La Seine a la pente convenable, mais trop peu de profondeur d'eau pour la navigation à la voile. 535
Les ſinuoſités ne ſeroient pas un obſtacle à la navigation à la voile. 536
On peut lever l'obſtacle oppoſé par les îles. 537
On peut auſſi lever celui oppoſé par les ponts. 538
Le défaut de profondeur d'eau eſt la ſeule difficulté. 539
Projet propoſé par les ingénieurs qui ont remonté la Seine à bord du lougre *le Saumon*. 541
Inconvéniens du projet de redreſſer le lit de la Seine. 542
Danger réſultant des petits canaux de redreſſement projettés. 543
Canal projetté par le citoyen Lemoine. 544
Problème à la ſolution duquel ſe réduit la navigation de la Seine à la voile. 545
On doit réduire le lit de la rivière. 546
Largeur à donner aux rétréciſſemens. 547
Diſtance des rétréciſſemens. 548
Les ouvrages ne doivent pas gêner le paſſage des eaux. 549
Ils ſeront auſſi analogues au hallage. 550
Précautions à prendre dans les barrages. 551
Précautions à prendre pour ne pas nuire aux édifices ſur la rivière. 552
Moyen d'éviter les ponts en naviguant à la voile. 553
Précautions à prendre pour Paris & ſes environs. 554
Cas où le fond ſeroit incorroſible. 555
Le procédé preſcrit réſout le problême ſur la navigation de la Seine. 556
Obſervations qui lèvent toutes les difficultés. 557
On aura ſouvent plus de profondeur d'eau que n'en exigent les vaiſſeaux marchands. 558
Ce projet eſt de nature à intéreſſer l'Etat. 559
On pourroit pouſſer la navigation à la voile au-delà de Paris. 560

Fin de la Table des Matières.

ERRATA.

PAGE ix, Discours préliminaire, ligne 4, on doit les figurer, *lisez* on doit se les figurer.

Pag. 9, lig. 11, des terres, *lisez* des torrens.

Pag. 17, lig. 25, ou à peu près donc: *lisez* ou à peu près. Donc:

Ibid, lig. 26, un volume de 800 fois plus grand, *lisez* un volume 800 fois &c.

Pag. 16, dernière ligne, de 36 pouces, lorsqu'il règne &c., *lisez* de 36 pouces. Lorsqu'il règne &c.

Pag. 25, lig. 17, sur une des masses primitives, les eaux, *lisez* sur une des masses primitives. Les eaux.

Pag. 30, lig. 26, dont le torrent soit susceptible, *lisez* dont le torrent ou la rivière &c.

Pag. 32, lig. 10 s'écrouleront, *lisez* s'écouleront.

Pag. 39, lig. 31, sur leur prolongement HH, *lisez* sur leur prolongement HH'.

Pag. 40, lig. 5, qu'elles auront perdu. *lisez* qu'elles auront perdue.

Ibid, ligne antépénultieme, transversale FfgG, *lisez* transversale F*fg*G.

Ibid, dernière ligne, 60 pieds, en faisant abstraction, *lisez* 60 pieds. En faisant abstraction.

Pag. 45, lig. 9, que dans d'autres, il faut donc, *lisez* que dans d'autres. Il faut donc.

Pag. 48, lig. 30, de la tranchée FfgG, *lisez* F*fg*G.

Pag. 49, lig. 24, qui la contrarie, la force, *lisez* qui la contrarie. La force.

Pag. 59, lig. 2, elles ont besoin d'être poussées, *lisez* ils ont besoin d'être poussés.

Pag. 64, ligne 4, leur pente, *lisez* leur perte.

Pag. 71, lig. 4 en marge, qui le fournit, *lis.* qui le fourniſſent.

Pag. 76, lig. 19, que nous propoſons, *liſez* que nous nous propoſons.

Pag 79, lig. 29, la pointe B, *liſez* le point B.

Pag. 81, lig. 13, de s'aggrandir, *lis.* de l'aggrandir.

Pag. 84, lig. 8, des deux rivières, *liſez* de deux rivières.

Pag. 86, lig. 11, & de la réſiſtance, *liſez* & la réſiſtance.

Pag. 90, lig. 15, & couvert, *liſez* & ouvert.

Pag. 100, lig. 22, ces eaux, *liſez* les eaux.

Pag. 101, lig 30, en roches, *liſez* en rocher.

Pag. 108, lig. 7, dans une grande crue, la pente, *liſez* dans une grande crue. La pente.

Pag. 110, lig. 2, en marge, ne ſera qu'un limon, *liſez* ne ſera qu'en limon.

Pag. 117, lig. 15, de A en D, le volume d'eau, *liſez* de A en D. Le volume d'eau.

Pag. 118, lig. 8, dans le terrein, *liſez* dans le terroir.

Pag. 119, lig. 3, s'y appliquent, *liſez* s'y applique.

Ibid, lig. 9, ces torrens rivières, *liſez* le torrent rivière.

Pag. 125, lig. 6, ou confluent, *liſez* au confluent.

Pag. 126, lig. 25, dans le terrein, *liſez* dans le terroir.

Pag. 137, lig. 9, k'q'q'x, *liſez* k'q',q'x.

Pag. 142, lig. 19, A'D'C'B, *liſez* A'D'C'B'.

Pag. 145, dernière ligne, *la force du mal*, liſez *la ſource du mal.*

Pag. 151, lig. 7, quelque ſoit la longueur, *liſez* quelleque ſoit la longueur.

Pag. 155, dernière ligne, $RH = y^{\frac{3}{2}\frac{mnpx}{q}}$, *liſez* $RH = y =$ &c.

Pag. 160, lig. 17, Soit ABCD, *liſez* Soient &c.

Pag. 161, ligne 15, de la deuxième partie, *liſez* de la deuxième ſorte.

Pag. 162, lig. 31, de deux pouces, *lis.* de deux pouces.

Page 164, lig. 17, pal-planchers, *lif.* pal-planches.

Pag. 168, lig. 3, Or nous allons, *lif.* Nous allons.

Pag. 169, lig. 9, au courant, pour obvier, *lif.* au courant. Pour obvier.

Pag. 175., lig. 22, ne doit eſſayer, *lif.* ne doit eſſuyer.

Pag. 176. lig. 7, ainſi que ſa direction, *lif.* ainſi que de ſa direction.

Pag. 182, lig. 8, dans le département du Midi, *lif.* dans les Départemens du Midi.

Pag. 188, lig. 29, eſt d'être placée, *lif.* eſt d'être placées.

Pag. 191, lig. 5, des plus fottes crues, *lif.* des plus fortes crues.

Pag. 198, lig. 17, le moins d'ouvrage poſſibles, *lif.* le moins d'ouvrages poſſibles.

Pag 206, lig. 5, d'éviter les mouvemens, *lif.* d'éviter les inconvéniens.

Ibid., lig. 7, un canal de navigation particulière, *lif.* un canal de navigation particulier.

Pag. 207, lig. 12, qui ſéparent les étangs de *Lavaldue* & d'*Engrenieu*; & ceux de *Citis*, *lif.* qui ſéparent les étangs de *Lavalduc* & d'*Engrenieur*, de ceux de *Citis*.

Pag. 211, lig. 24, ſur les ouvrages des rétréciſſemens en chemin de hallage, *lif.* ſur les ouvrages des rétréciſſemens, un chemin de hallage.

Pag. 214, lig. 5, mais en la deſcendant, *lif.* mais encore en la deſcendant.

Ibid., ligne antépénultieme, Nommons cette projection *ſ*, *lif.* Nommons cette projection *s*.

Pag. 215, lig. 7, projection *ſ*, *lif.* projection *s*.

Ibid. lig. 13, dans le buiome, *lif.* dans le binome.

Pag. 216, lig. 18, Appliquons-là, *lif.* Appliquons-la.

Ibid., lig. 19, $\overline{v'+v'}$. *lif.* $\overline{v'\pm v'}$.

Ibid., lig. 25, *même faute.*

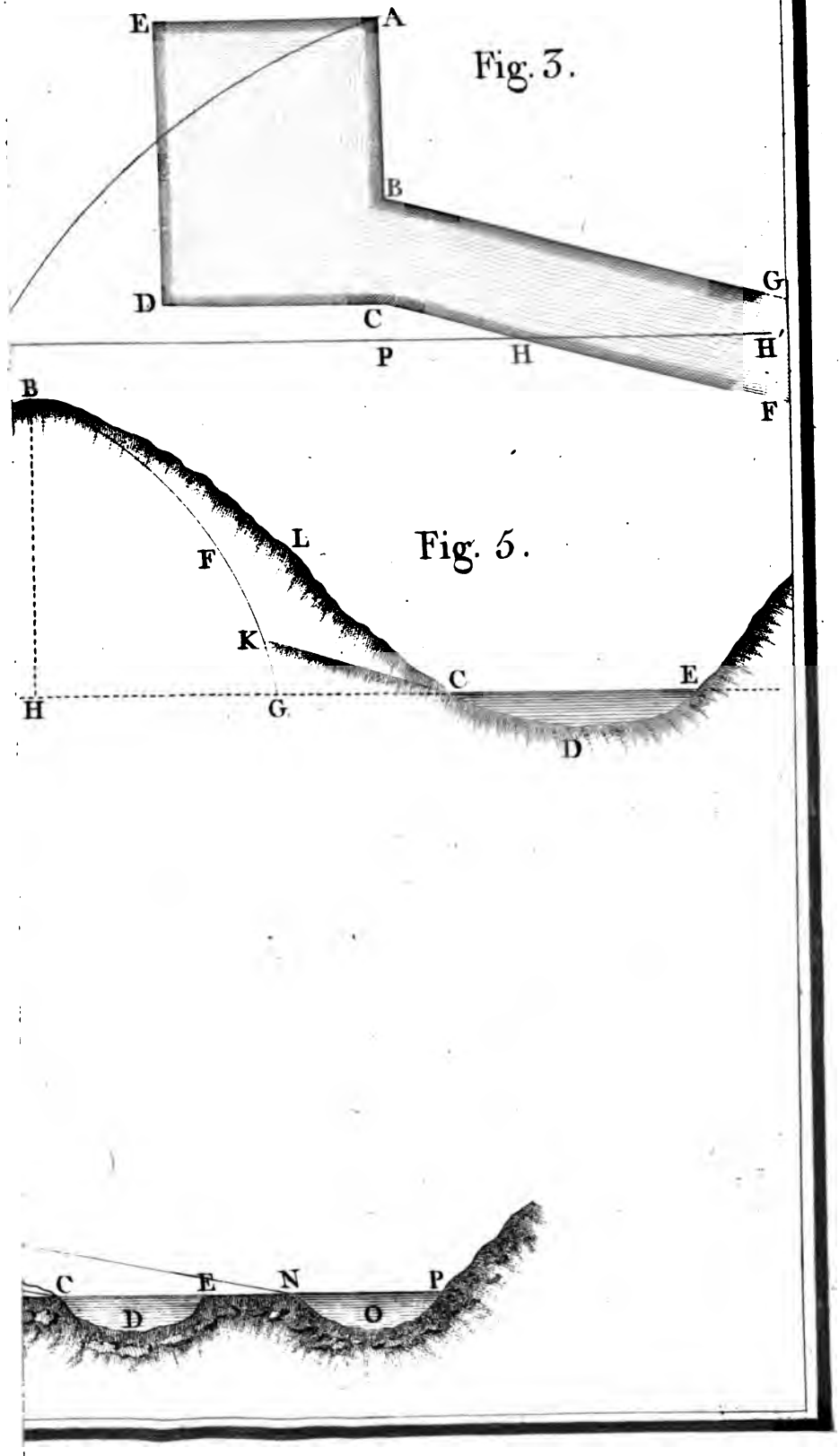
Page 216, lig. 31, $ma^2.\overline{v^2+v^2}$, *lif.* $ma^2.\overline{v^2+v^2}$.

Pag. 221, lig. 21, lorſqu'elles ne ſont pas flottables, *lif.* lorſqu'elles ne ſont que flottables.

Pag. 229, lig. 5, par une foule de petites rivières dont nous venons de parler, *lif.* par une foule de petites rivières moindres que celles dont &c.

Pag. 246, lig. 17, des ſacs des écluſes, *lif.* des ſas des écluſes.

Pag. 255, lig. 25, LM, *lif.* LN.


E
A
B
D
C
G
H'
P
H
F
Fig. 3.
B
L
F
K
C
E
H
G
D
Fig. 5.
C
E
N
P
D
O

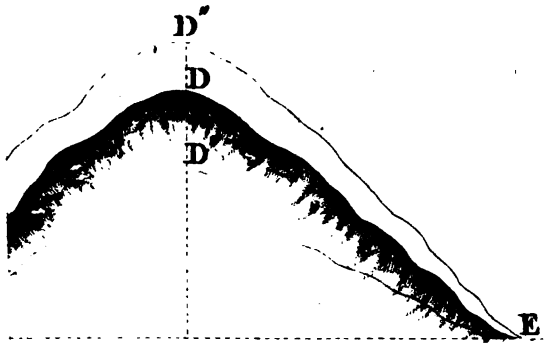
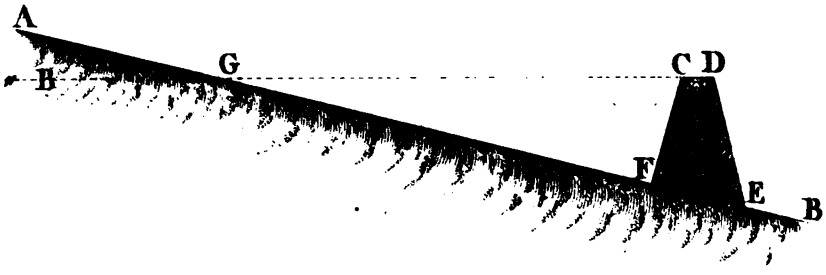


Fig. 10.



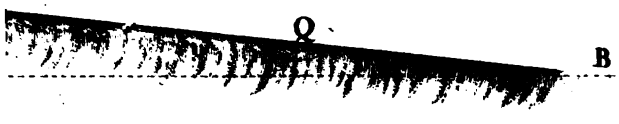


Fig. 13.

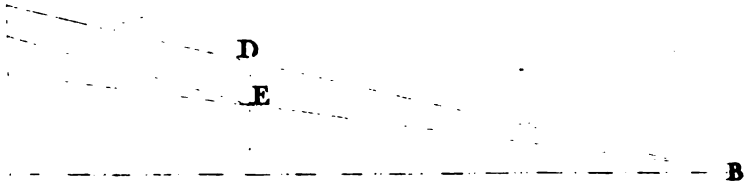


Fig. 14.

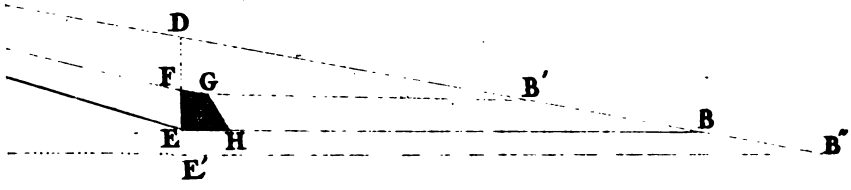


Fig. 15.

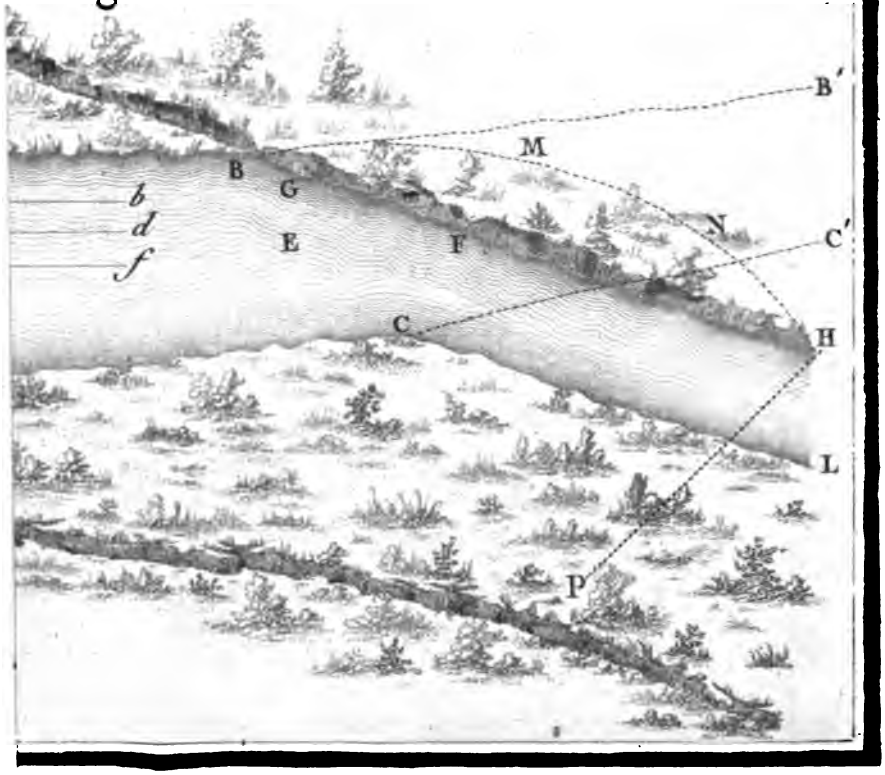


Fig. 17.

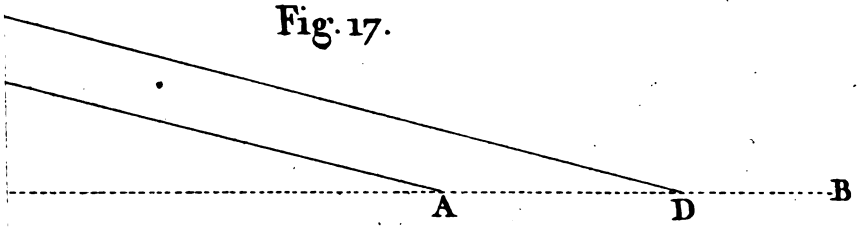
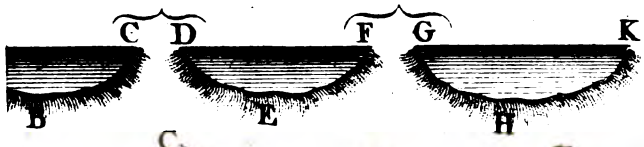


Fig. 19.



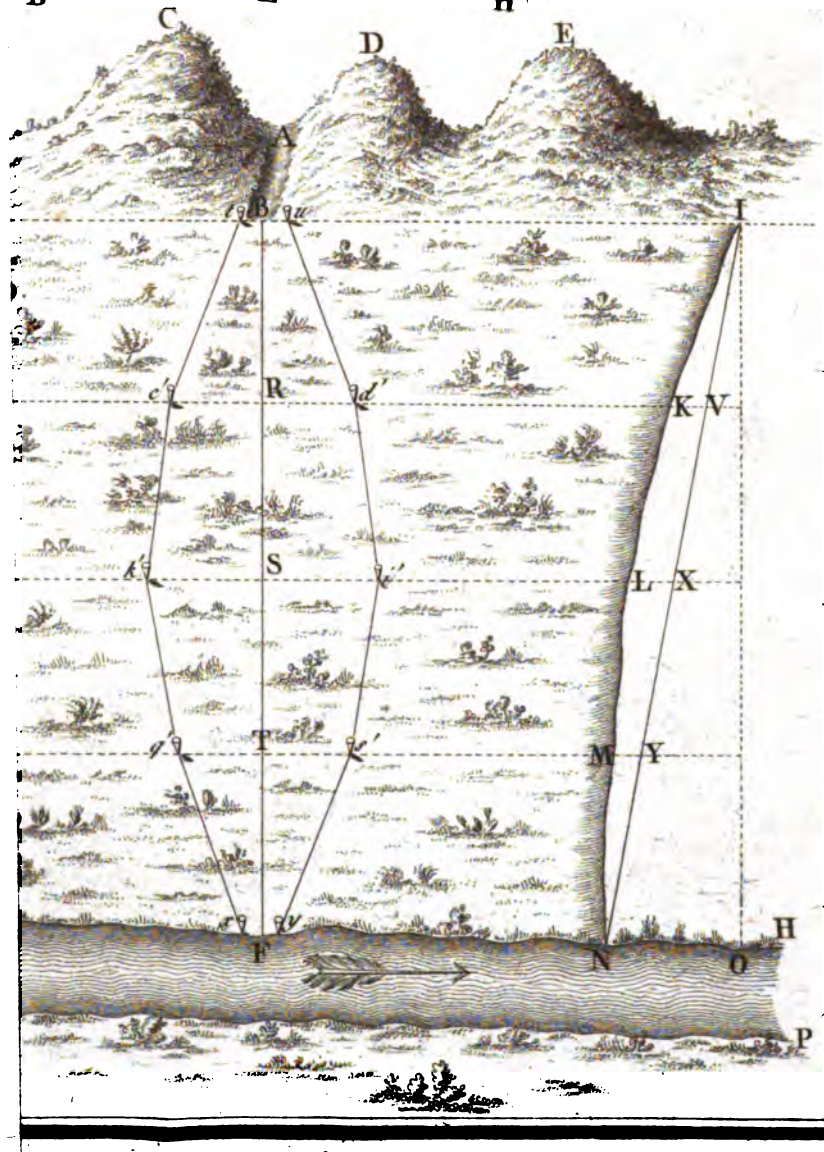


Fig. 23.

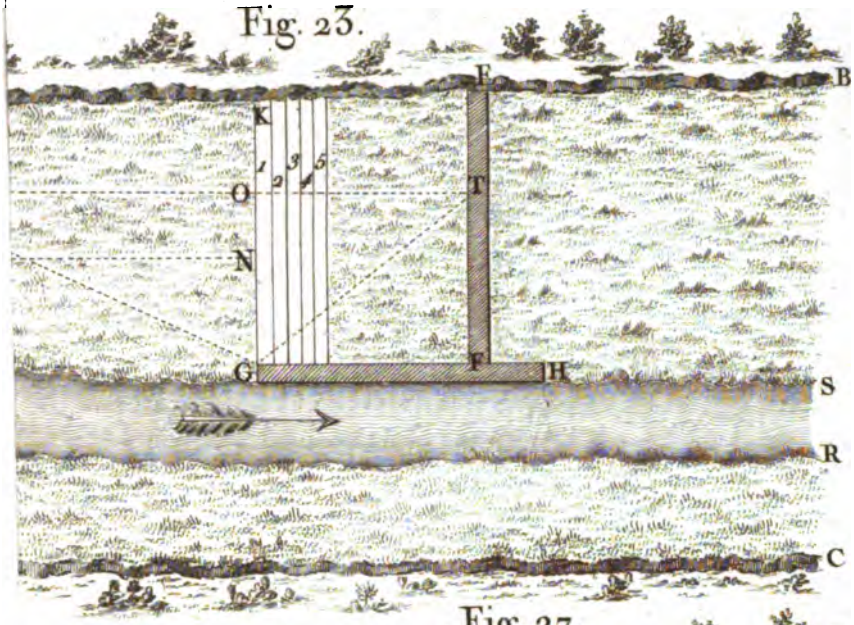
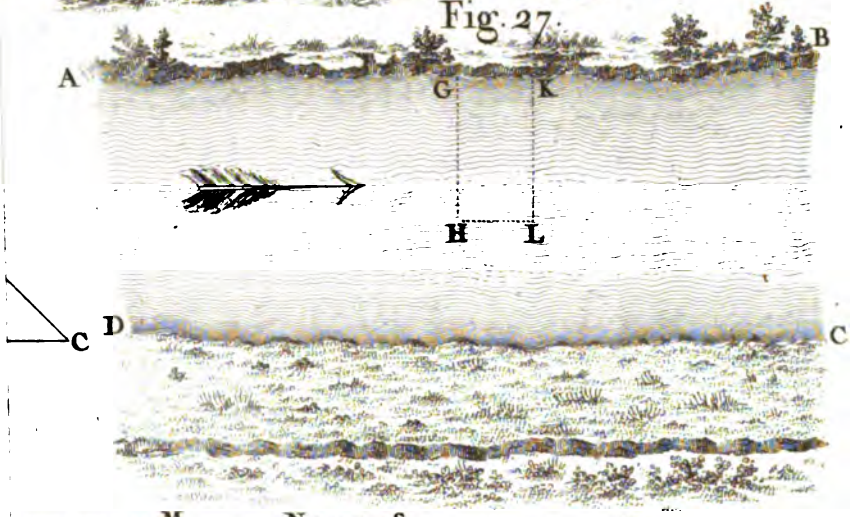
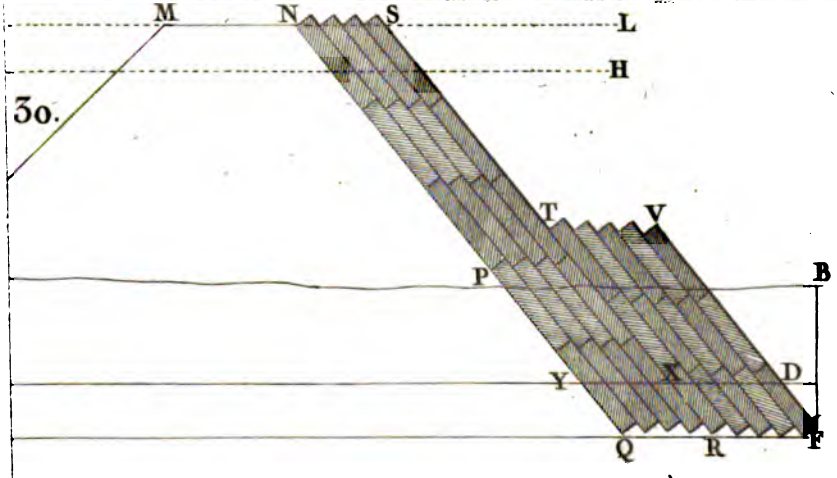
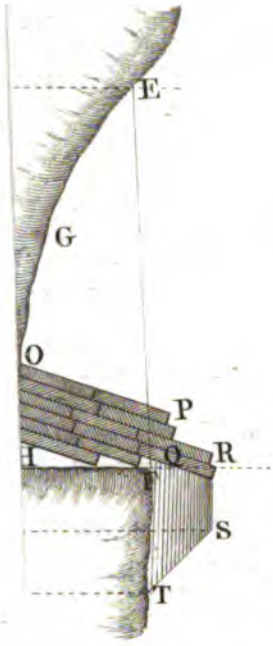


Fig. 27.



30.





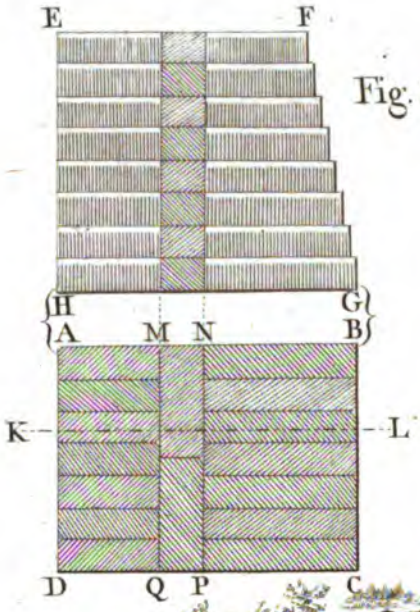


Fig. 32.

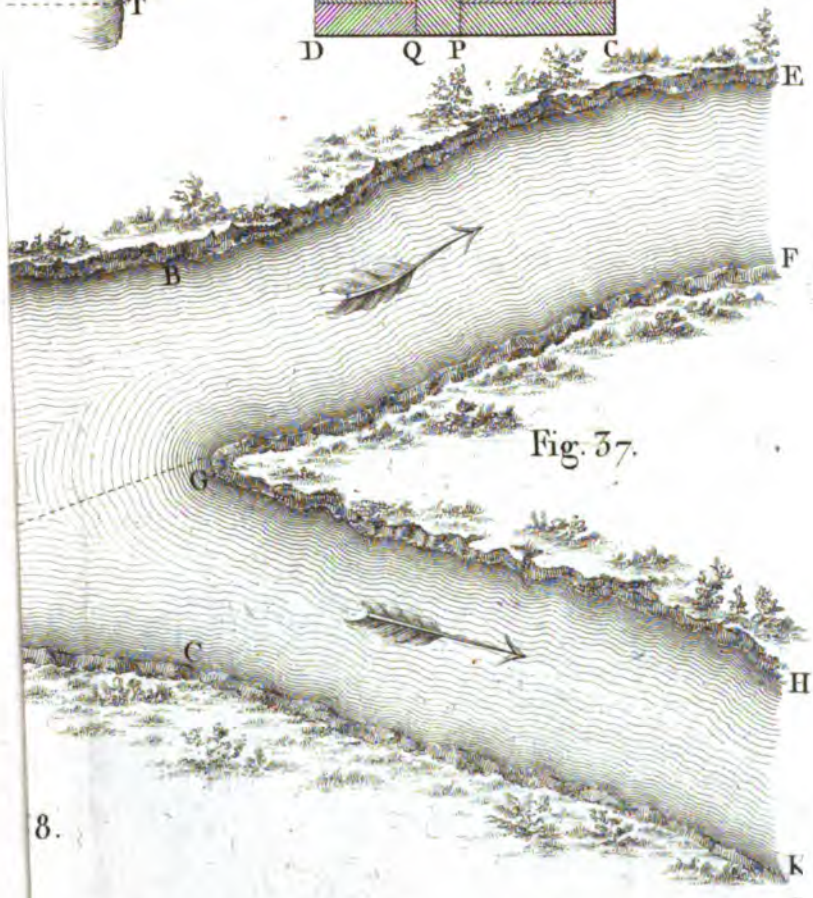


Fig. 37.

8.

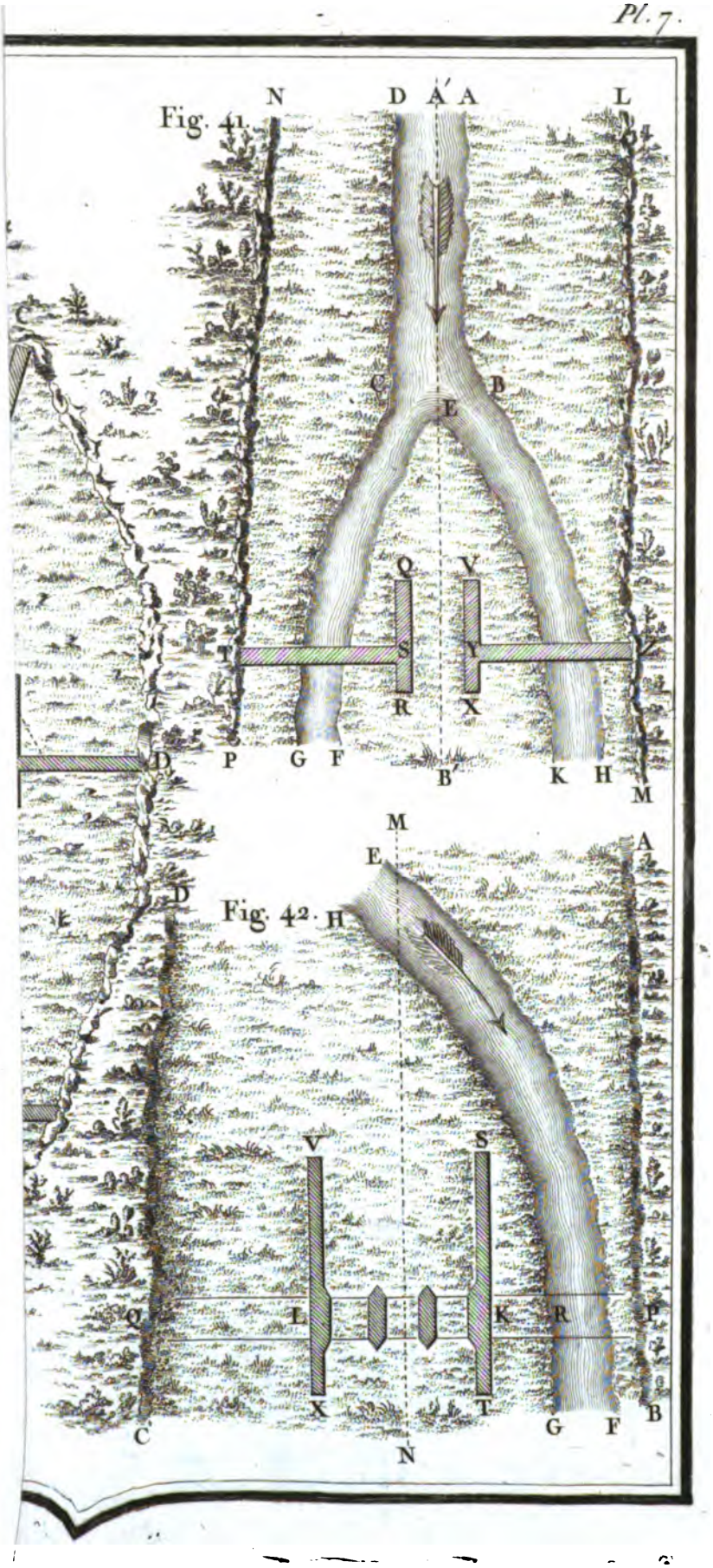


Fig. 41.
N
D
A'
A
L
C
B
E
Q
V
T
S
Y
R
X
D
P
G
F
B
K
H
M
Fig. 42.
M
E
A
H
D
V
S
Q
L
K
R
P
X
T
G
F
B
C
N

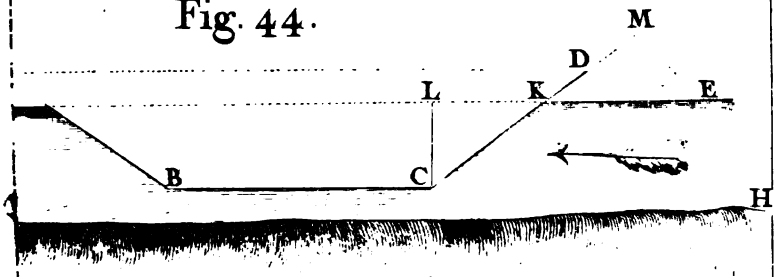
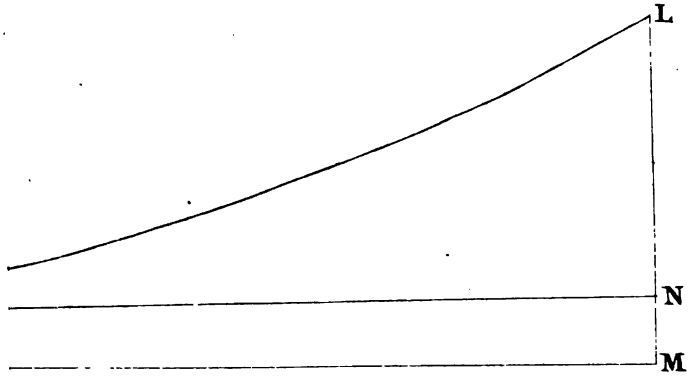
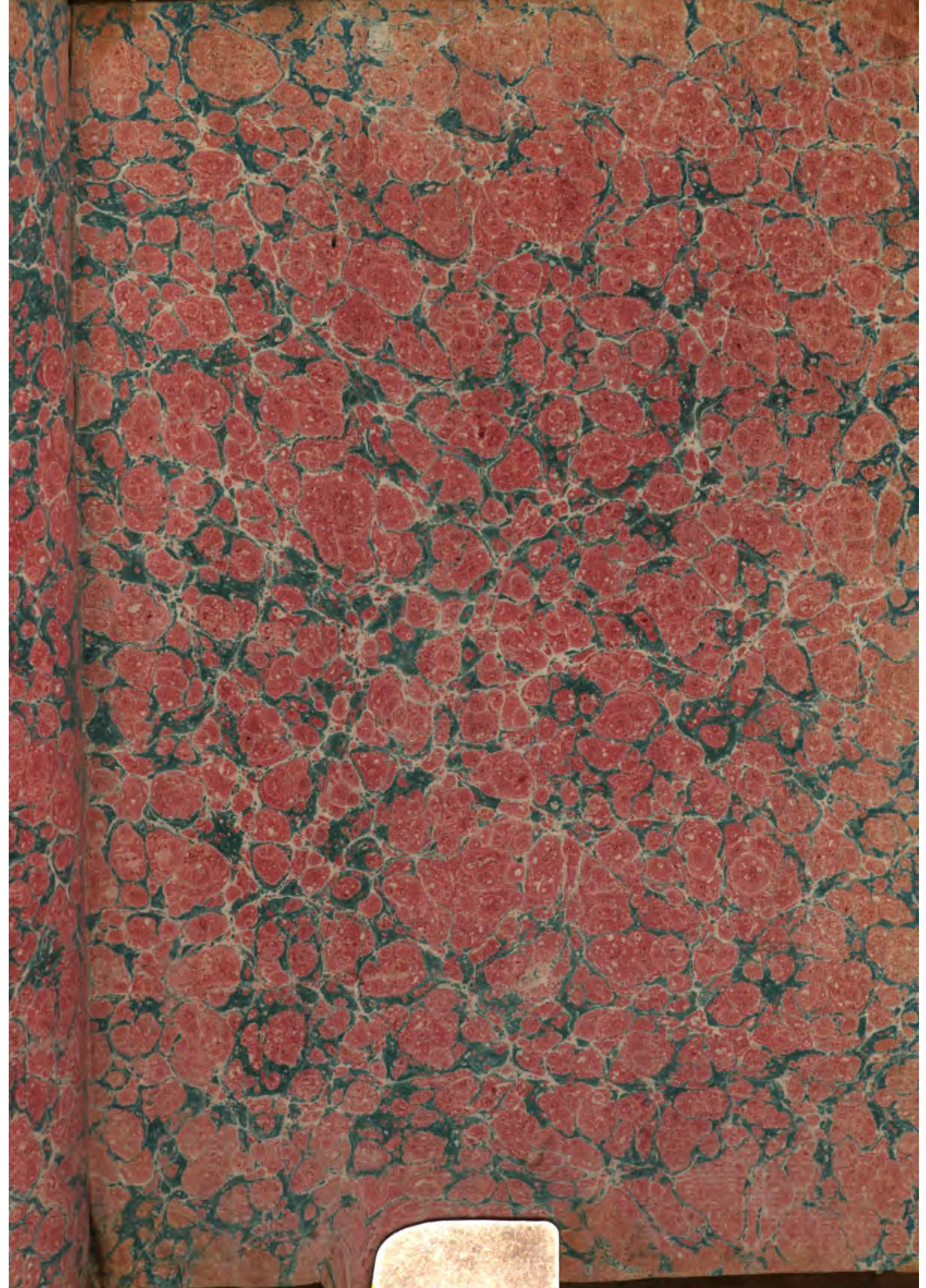



Fig. 44.